

Joona Lumitähti

YKSIAUKKOISEN TERÄSBETONILAATTA- SILLAN KORJAUSTAPAVERTAILU

Opinnäytetyö
Rakennustekniikka

Kevät 2015



Tekijä	Tutkinto	Aika
Joona Lumitähhti	Insinööri (AMK)	Toukokuu 2015
Opinnäytetyön nimi Yksiaukkoisen teräsbetonilaattasilan korjaustapavertailu		55 sivua 3 liitesivua
Toimeksiantaja Insinööritoimisto Suunnittelukide Oy, Kaakkois-Suomen ELY-keskus		
Ohjaaja Lehtori Juha Karvonen, Ins. Jussi Kurhinen		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämä opinnäytetyö käsittelee teräsbetonisen laattasilan korjausvaihtoehtojen tarkastelua. Korjaustapoja esitetään yhdelle keskikokoiselle, jännemitaltaan viisimetriselle laattasilalle ja esitetyistä vaihtoehtoista pyritään löytämään soveltuvin ja kokonaistaloudellisin vaihtoehto.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena on vertailla erilaisia korjausvaihtoja, niiden kustannuksia ja selvittää, mitkä muut asiat vaikuttavat korjaustavan valintaan kuin hinta. Painottamalla tiettyjä kriteerejä, voidaan jatkossa löytää sopivin korjausvaihtoehto helpommin, kun tiedetään mitä kukin korjaustoimenpide tarkoittaa ja edellyttää.</p> <p>Teräsbetoninen laattasilta on kaikista yleisin Suomessa käytetty siltatyyppe. Sillankorjaukset ovat erittäin ajankohtainen infrarakentamisen aihe, sillä väyläomaisuuden korjausvelkaa ei ole saatu laskuun moneen vuoteen Suomessa. Siltojen korjauksen osuus korjausvelasta on noin 10–12 % ja korjaukset on luonnollisesti tehtävä ajoissa, ettei liikenneturvallisuus silloissa vaarannu.</p> <p>Työssä valittiin kustannusarvioiden vertailuun referenssivaihtoehdoksi sillan peruskorjaus ja tätä verrattiin muihin vaihtoehtoihin korjaustapoihin. Yhteensä vertailtavia vaihtoehtoja oli viisi. Kustannusarvion tekemisessä käytettiin apuna pääasiassa liikenneviraston (ent. tiehallinto) laatimaa ohjeistusta. Sillan korjauksessa liikennehaitta pyritään saamaan mahdollisimman pieneksi, joten tätä pyrittiin arvioimaan ja minimoimaan rakennusajan arviolla ja työn vaiheistuksella.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin selville, mikä korjausvaihtoehto on kyseisellä siltapaikalla, ns. Raikan sillalla, kaikista kustannustehokkain. Tämä tarkoittaa sitä, että valittu vaihtoehto on kokonaisuutena soveltuvin ottaen huomioon kustannukset, rakennusaika ja saavutettu laatu. Työssä käytetyt yksikköhinnat ja työmenekit saattavat vaihdella jonkin verran, mikä johtuu sekä materiaalikustannusten, että työ- ja materiaalikustannusten vaihtelusta sekä urakoitsijoiden kilpailutilanteesta. Nämä hinnat ovat kuitenkin yleisesti käytössä olevia budjettihintoja ja indeksimuutos saadaan tilastokeskuksen ylläpitämän maanrakennus kustannusindeksin avulla.</p> <p>Opinnäytetyössä saatiin selville tekijöitä, joiden avulla voidaan erilaisissa sillankorjauskohteissa tehdä soveltuvien korjausvaihtoehtojen valintaa. Siinä huomioon otettavia seikkoja ovat muun muassa sillan nykyinen kunto, siltapaikan ympäristö, sillan koko ja liikennemäärät. On syytä kuitenkin korostaa että jokainen korjauskohde tulee tarkastella yksilönä.</p>		
<p>Asiasanat korjaus, silta, kustannusvertailu, laattasilta</p>		

Author	Degree	Time
Joona Lumitähhti	Bachelor of Engineering	May 2015
Thesis Title Comparing Renovation Options for a Single-Span Reinforced Concrete Slab-Bridge.		55 pages 3 pages of appendices
Comissioned by Insinööritoimisto Suunnittelukide Oy, Southeast Finlands' Centre for Economic Development, Transport and the Environment		
Supervisor Juha Karvonen, Senior Lecturer, Jussi Kurhinen		
Abstract <p>This bachelor's thesis is about comparing renovation options for a single-span reinforced concrete slab-bridge. The options are sought for one middle-sized slab-bridge with a bridge span of five meters. These options are studied in order to find most the cost-effective one in the long term.</p> <p>The thesis aims to compare the expense estimations of renovation options and discuss other factors that influence the choice of option alongside with cost. By emphasizing specific criteria, it is easier to make a renovation plan when the required properties of the plan are known. The research is delimited to reinforced concrete slab-bridges because that bridge type is the most common in Finland. Moreover, the renovation of old bridges in general is a topical subject, because delayed investments in road network is only growing larger year by year in Finland. The renovation of bridges equals 10-12 per cent of the aforementioned investment.</p> <p>The research method was to use one example case to draft a cost-estimation, which was then compared to other options. The comparison was made for 5 different renovation options. The influence on traffic was attempted to make as small as possible in the renovation plan. That is why also the duration of renovation work was estimated and minimizing the unnecessary inconvenience caused by the renovation on the bridge site discussed.</p> <p>The result of comparison reveals which option is the most cost-effective on that particular bridge site. This means that the chosen option is well-balanced in areas of cost, time and achieved durability. The unit prices used may vary because of changes in economic situation.</p> <p>The thesis is concluded with general aspects which will help choosing the renovation option for a slab-bridge in the future. These aspects are adaptable to other bridge types and depend the present condition, the site, size and traffic volume of the bridge.</p>		
Keywords renovation, slab-bridge, cost comparison, cost-effectiveness		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	SILTOJEN HISTORIA JA NYKYTILA SUOMESSA	7
2.1	Ikäjakausma	7
2.2	Tiesiltojen suunnittelukuormat	8
2.2.1	Aikaisemmin käytössä olleet suunnittelukuormat.....	8
2.2.2	Nykyisin käytössä olevat suunnittelukuormat.....	11
2.3	Sillaston rakenne	13
2.4	Sillaston kunto	15
2.5	Siltojen kunnon seuranta	16
2.6	Siltarekisteri	17
3	RAIKAN SILTA	18
3.1	Siltapaikan sijainti	18
3.2	Sillan ominaistiedot ja rakenne	18
3.3	Sillan kunto	19
3.3.1	Erikoistarkastusselostus	19
3.3.2	Omat havainnot.....	21
3.3.3	Muu lähtöaineisto	22
4	KORJAUSVAIHTOEHDOT	22
4.1	Peruskorjaus.....	22
4.2	Kansirakenteen uusiminen	24
4.2.1	Elementtirakenteinen betonikansi	25
4.2.2	Teräspalkit ja puukansi	26
4.2.3	Paikalla valettu betonikansi.....	26
4.3	Uuden sillan rakentaminen	27
4.4	Vertailun ulkopuolelle jääneet vaihtoehdot	28
4.4.1	Liimapuupalkit	28
4.4.2	Vaihtoehtoinen vedeneristys	29
4.4.3	Teräspalkisilta	30

5	VALINTAPERUSTEET	30
5.1	Kokonaistaloudellisuus	30
5.2	Korjauskustannukset	30
5.2.1	Yleistä siltojen kustannuslaskennasta.....	31
5.2.2	Korjausvaihtoehtojen kustannusarviot	32
5.3	Käyttöikä.....	38
5.4	Rakennusaika.....	39
5.5	Muut valintaan vaikuttavat tekijät.....	45
6	KORJAUSSUUNNITELMA	47
6.1	Yleistä.....	47
6.2	CAD-piirto ja dokumentointi	48
6.3	Korjattavan sillan asiakirjat	48
7	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	49
	LÄHTEET	52
	KUVALUETTELO	54
	LIITTEET	

Liite 1. Peruskorjauksen määräluettelo/yksikkökustannukset/työmenekki

Liite 2. Elementtikannen mittapiirustus

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on tarkastella huonokuntoisen vesistösillan korjausvaihtoehtoja kokonaisvaltaisesti. Sillan nykyistä kuntoa tarkastellaan Insinööritoimisto Suunnittelukide Oy:n tekemän erikoistarkastusselostukseen ja paikan päällä tehtyihin havaintoihin sekä muihin havaintoaineistoon pohjautuen.

Opinnäytetyön tarkoitus on selvittää Rautjärvellä sijaitsevalle Raikan sillalle sekä kustannustehokas että kestävä korjausratkaisu. Korjauskustannusten selvittämisestä voi olla hyötyä muihin samaan kokoluokkaan kuuluvien siltojen korjaussuunnittelussa, joita tulee varmasti seuraavina vuosina runsaasti, koska Suomen sillaston ikäjakauma on suhteellisen vanhaa, ja betoniset laattasillat ovat yleisin Suomessa käytetty siltatyyppejä.

Tämän opinnäytetyön osana on edellä mainitun teräsbetonisen laattasillan korjaussuunnittelu ja uuden sillan yleissuunnittelu. Eri korjausvaihtoehtoja tutkitaan ja näistä vaihtoehtoista valitaan toteutettavaksi soveltuvin ja kaikista kokonaistaloudellisin. Valintaperusteina käytetään korjauskustannusten lisäksi muun muassa rakennusaikaa ja saavutettua käyttöikää. Valitusta vaihtoehdosta tehdään lopullinen korjaussuunnitelma ja se toteutetaan Raikan sillan korjaustyössä. Sillan tulevasta korjausajankohdasta ei ole vielä tietoa, mutta kunnan perusteella korjaus tulisi tehdä mahdollisimman pian.

Opinnäytetyön tilaaja, Insinööritoimisto Suunnittelukide Oy on vuonna 2001 perustettu infra-alan konsulttitoimisto, joka on erikoistunut siltojen yleis- ja rakennesuunnitteluun, valvontaan ja kuntotarkastukseen. Toimistossa työskentelee yhteensä 19 henkilöä suunnittelu-, tarkastus ja projektinhallintatehtävissä Kouvolassa, Turussa ja Tampereella.

Tilaajana toimii myös Kaakkois-Suomen Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, joka toimii suunnitelmien tarkastajana. Ely-keskukselle on tarkoitus tuottaa kokonaisvaltaista tutkimustietoa siltojen korjausvaihtoehtoista, sillä ELY-

keskuksen tehtävänä on huolehtia maantieväylien, ja näin ollen myös maantiesiltojen kunnosta.

2 SILTOJEN HISTORIA JA NYKYTILA SUOMESSA

2.1 Ikäjakaus

Siltojen korjaussuunnitelmia tehdessä on tiedettävä monia asioita sillan rakennusajankohdan aikaisista menetelmistä, tavoista ja rakennetyypeistä. Tämä on etenkin silloin tärkeää, kun korjattavasta sillasta ei ole saatavilla alkuperäisiä rakennepiirustuksia. Siltojen historian tuntemus auttaa suunnittelijaa tunnistamaan aikakaudelle ominaisia piirteitä, ja tällä tavoin tekemään parhaan mahdollisen korjaussuunnitelman kullekin sillalle.

Suomen vanhimmat käytössä olevat sillat ovat 1700-luvulta. Vielä 1700–1900-luvuilla siltojen päärakennusmateriaalit olivat lähes yksinomaan joko kivi tai puu. Puisia siltoja oli 1900-luvun alkupuolella noin 70 % kaikista silloista. Betonia alettiin käyttää yleisesti tiesilloissa vasta 1900-luvun alussa, kun moottoriajoneuvot alkoivat yleistyä yleisillä teillä. Ennen 1900-lukua rakennettuja siltoja on liikenneviraston kirjoissa 40 kappaletta. (1, 2.)

Vuoteen 1921 asti tiesillat olivat yleisesti tienpitovelvollisten maanomistajien tekemiä. Tämän jälkeen maanteiden kunnostus ja ylläpito siirtyi suurelta osin valtion huoleksi ja valtioneuvosto antoi tämän siirtymän myötä ohjeen: *Teknilliset ohjeet teiden tekemisestä ja kunnossapidosta maalla*. (1.)

Rakentaminen oli hiljaista 1940-luvulla, sillä sota-ajat veivät miesvoimia sota-toimiin rakennustyömaiden sijaan. Toisaalta pioneerit rakensivat paljon niin sanottuja sotilaallisia siltoja, koska kulkuyhteydet olivat tärkeä osa sodan strategisia toimia. Näitä armeijan teettämiä kenttäsiltoja rakennettiin talvi- ja jatkosotien aikana lähes 2 000 kappaletta vuosina 1941–1944. (1.)

Jälleenrakennusaika 50-luvun lopulla näkyy vilkkaana sillanrakentamisen aikana. Rakentamisen kova intensiteetti kesti aina 1990-luvulle asti, jolloin suuri lama vaikeutti rakentamista kansantalouden ollessa suurissa vaikeuksissa.

Suomessa on 1990-luvulla valmistuneita siltoja kuitenkin paljon ja vasta 2000-luvulla rakentaminen on hidastunut (2).

Uudisrakentamisen hidastuminen johtuu osittain myös siitä, että korjaus- ja ylläpitokustannukset ovat vieneet rahoitusta uusilta väyliltä. 1960–1980 -luvuilla rakennettiin miltei pari sataa siltaa vuosittain ja nämä sillat ovat 40 vuoden iässä hyvin todennäköisesti ainakin peruskorjauksen tarpeessa (2).

2.2 Tiesiltojen suunnittelukuormat

Käytetyt suunnittelukuormat ovat vahvasti vaikuttaneet siihen, millaiseksi sillat on minäkin aikana suunniteltu. Siltojen kuormat ovat on kasvaneet vähitellen siitä asti kun ihmiset vielä kulkivat hevosen vetämillä vaunuilla. Tässä osiossa käsitellään aikaisemmin Suomessa käytettyjä tiesiltojen suunnittelukuormia ja esitellään lyhyesti nykyisin käytössä olevat suunnittelukuormat.

2.2.1 Aikaisemmin käytössä olleet suunnittelukuormat

Ennen eurokoodi-aikaa erilaisia suunnittelukuormia on ollut käytössä monia. Suunnittelukuormien historia ulottuu vuoteen 1891, jolloin tie- ja vesirakennusten ylihallitus teki ohjeen, jota voidaan pitää ensimmäisenä tiesiltojen suunnitteluohjeena. Tuohon aikaan tiellä liikkui lähinnä hevosajoneuvoja, joten suunnittelukuorman akselipaino oli 1500 - 2500kg (tai tasaista pintakuormaa 250–400 kg/m²). (1.)

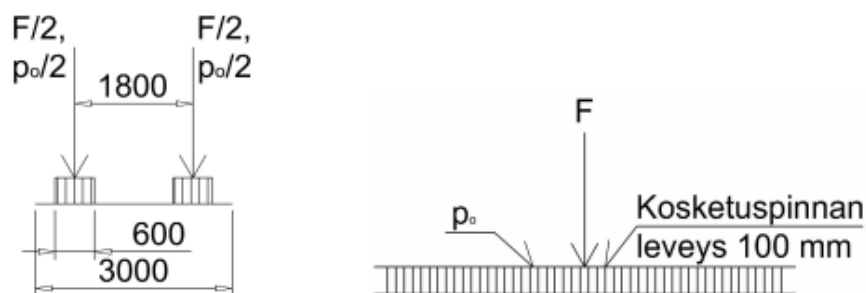
Suurin muutos suunnittelukuormiin tuli samaan aikaan kun tienpitovelvolliset maanomistajat luovuttivat teitä valtion omistukseen. Vuodesta 1921 lähtien sillat, jotka sijaitsivat kivetyillä, raskaalle liikenteelle tarkoitettulla tiellä, tuli suunnitella kokonaispainoltaan 9 tonnin kuorma-autolle ja 400 kilogramman tasaiselle kuormalle neliömetriä kohden. Suuria muutoksia tähän ei tullut ennen 50-lukua, lukuun ottamatta 12 tonnin kuorma-auton lisäystä kuormitukseen 40-luvulla. (1, 3.)



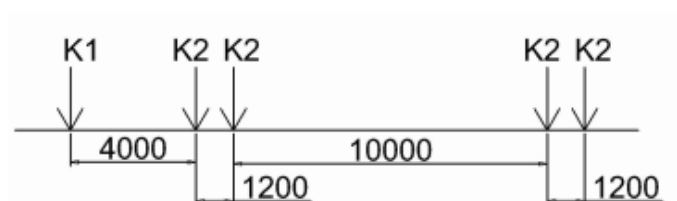
Kuva 1. VR:n kuorma-auto (kuormitettuna max. 9-12 tonnia) 1950-luvun alkuvuosilta (4).

Merkittävimmät, nykyisin vaikuttavat tiesiltojen rakennetta koskevat suunnittelukuormat julkaistiin 1950-luvulla. Suunnittelukuormat A I...AIII (Kuva 2) muodostuivat akselikuormasta ja nauhakuormasta, jotka on jaettu 3 metrin kuormituskaisioille. Akselikuorman suuruus oli $F = 140 \text{ kN}$ ja tasainen viivakuorma $p_o = 24 \text{ kN/m}$. Näillä suunnittelukuormilla suunniteltuja siltoja Suomessa on yhä useita tuhansia. (1, 3.)

Myöhemmin, vuonna 1961, sillat mitoitettiin myös erikoiskuormalle, jonka kokonaispaino oli 134 tonnia (Kuva 3). Tämän kuormitustapauksen tarkoitus oli mallintaa tarkemmin raskaan ajoneuvon painon jakautumista sillalle.



Kuva 2. A I-kuormakaavio (3)



Kuva 3. Akselikuormakaavio 1960-luvulla: $K1 = 14 \text{ t}$ ja $K2 = 30 \text{ t}$ (3)

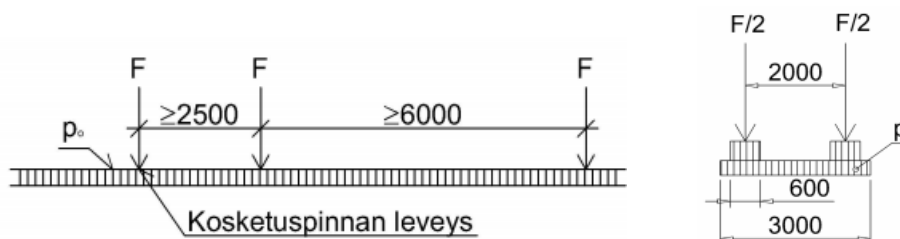
A I-kuormakaavion mukainen suunnittelukuorma on merkittävä siksi, että sitä on käytetty 1950-luvulta lähtien aina 70-luvun puoliväliin. Tämä aika oli sillanrakentamisessa hyvin vilkasta aikaa (Kuva 9). Vuonna 1969 tehtiin edellä mainittuihin kuormakaavioihin vielä erilaisia variaatioita ja lisättiin erikoiskuormakaavioita. (3.)



Kuva 4. Volvon 5-akselinen kuorma-auto 1960-luvulta (vrt. Kuva 3) (5)

1971 otettiin käyttöön Pohjoismaiset siltakuormat, Lk1, Lk2 ja Lk3 sekä erikoiskuormaluokat Ek1...Ek3. Lk1- ja Lk2 -mitoituskuormat muodostuvat 1-3 akselikuormasta ja tasaisesta pintakuormasta, mitkä vaikuttavat samanaikaisesti. Akselikuorman suuruus on; Lk1:ssä $F = 210$ kN ja tasaisen kuorman suuruus $p_o = 3$ kN/m². Akselikuorman suuruus on Lk2:ssa $F = 260$ ja tasainen kuorma $p_o = 2$ kN/m² (Kuva 5). (3.)

Lk3-kuormassa tarkasteltiin yhtä yksittäistä pyöräkuormaa, jonka suuruus on 130 kN. Lk1 eritoten on merkittävä suunnittelukuorma, sillä tällä kaaviolla suunniteltuja siltoja on nykyäänkin liikenteen käytössä noin 6 000 kappaletta (1).

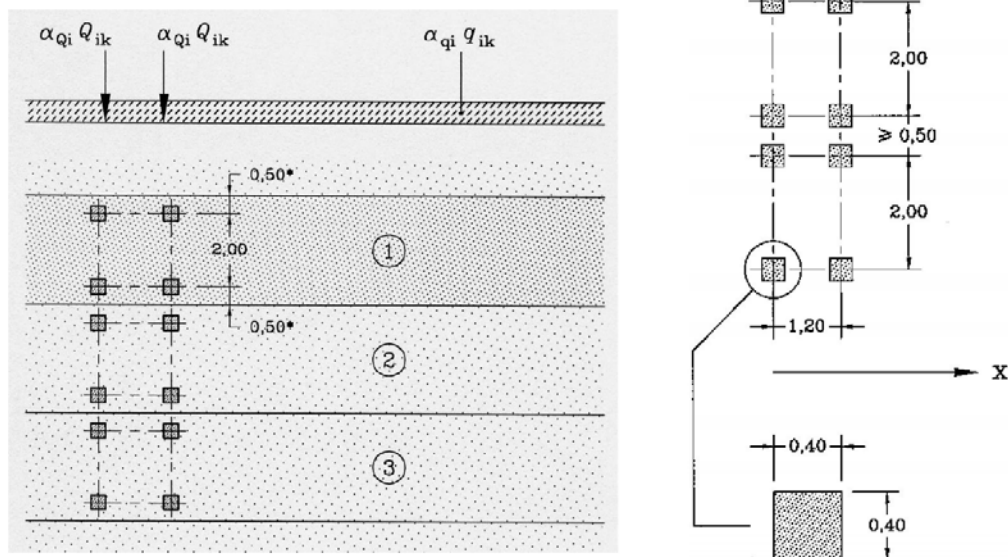


Kuva 5. Lk1- ja Lk2 -kuormakaaviot: $F = 210/260$. $p_o = 3/2$ kN/m² (3)

2.2.2 Nykyisin käytössä olevat suunnittelukuormat

Nykyisin siltojen mitoitukseen käytetään eurokoodien mukaisia kuormakaavioita. Eurokoodien kehittäminen alkoi jo 1990-luvulla, mutta käytännössä niihin on siirrytty Suomessa vasta 2000-luvun puolella (1). Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet tulivat nykyiseen eurokoodimuotoonsa vuonna 2010 ja ovat vielä hakeneet monissa asioissa omaa paikkaansa. Tästä siirtymästä kertoo se, että Liikenneviraston soveltamisohje siltojen kuormituksiin liittyen on uusittu jo kaksi kertaa neljän vuoden sisällä. Uusin painos on merkitty päiväykselle 5.9.2014. (6.)

Pystykuormina käytetään ajoneuvoliikennöidyillä teillä LM1...LM4 mukaisia kuormakaavioita. Näissä kuormakaavioissa kuormitettava silta jaetaan sillan poikkisuunnassa 3,0 metrin levyisiin kuormakaistoihin. Kuormakaistojen lukumäärä ja niiden sijoittelu toteutetaan siten, että saadaan määräävä vaikutus, eli kullekin voimasuurelle eli rasitukselle suurin arvo (normaalivoima, leikkaus, momentti). (6, 7.)



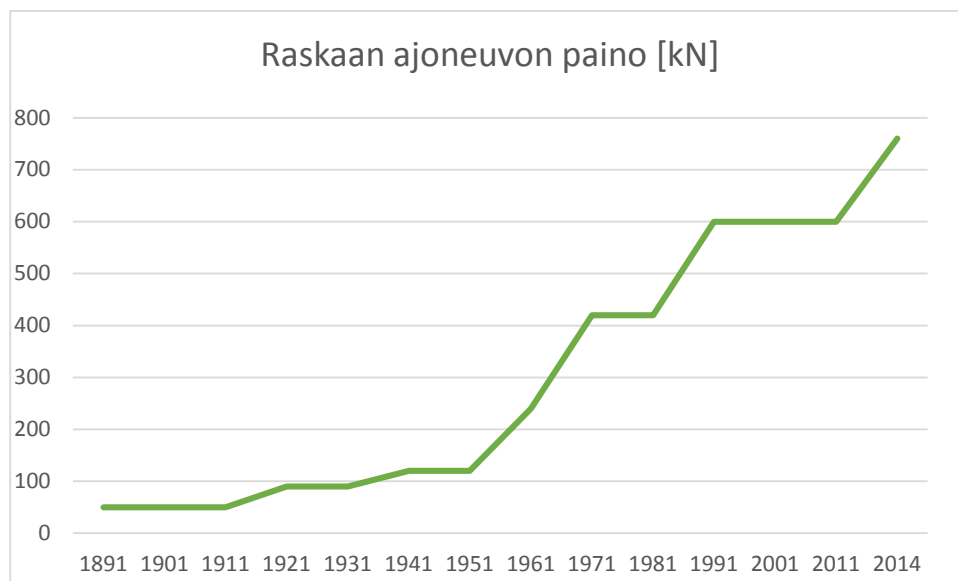
Kuva 6. Telien sijoittelu kuormakaaviossa LM1 (7)

LM1-kuormakaaviossa oleville teleille ja tasaiselle kuormalle saadaan arvot liikenneviraston soveltamisohjeesta *NCCI 1 – Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet* taulukosta B.1. (6, 7.)

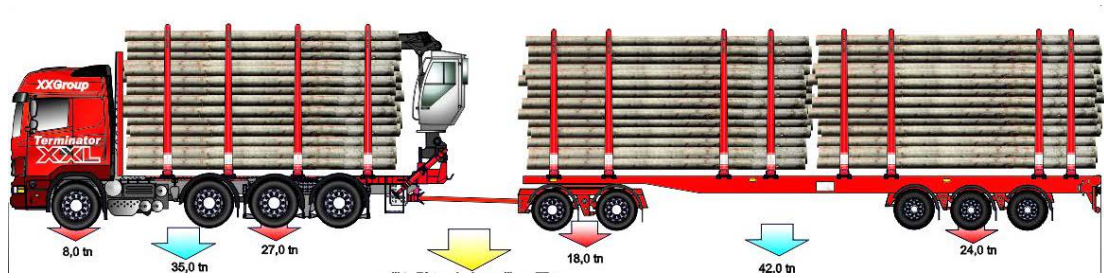
Taulukko 1. LM1 kuormien ominaisarvot Q_{ik} (telikuorma) ja q_{ik} (tasainen kuorma) kerrottuna α -kertoimella (6)

Sijainti	Yleiset tied			
	Telikuorma		UDL	
	α_{qi}	$2 \times \alpha_{qi} \times Q_{ik}$ (kN)	α_{qi}	$\alpha_{qi} \times q_{ik}/q_{rk}$ (kN/m ²)
Kaista nro 1	1,0	2×300	1,0	9
Kaista nro 2	1,5	2×300	2,4	6
Kaista nro 3	0	-	1,2	3
Muut kaistat	-	-	1,2	3
Kaistojen ulkopuolinen alue (q_{rk})	-	-	1,2	3

Ajoneuvojen koko ja samalla myös niiden massa nousee koko ajan, joten raskaan kaluston aiheuttamat laskennalliset kuormitukset nousevat kovaa vauhtia. Ajoneuvoasetukseen 1.10.2014 tehdyt muutokset sisältävät mm. kaksi konnaan uutta ajoneuvoluokkaa, joista toinen on peräti 76 tonnia painava ”superrekka” (8).



Kuva 7. Raskaiden ajoneuvoyhdistelmien laskennallisen painon kehitys vuodesta 1891 vuoteen 2014 (1, 3, 8).

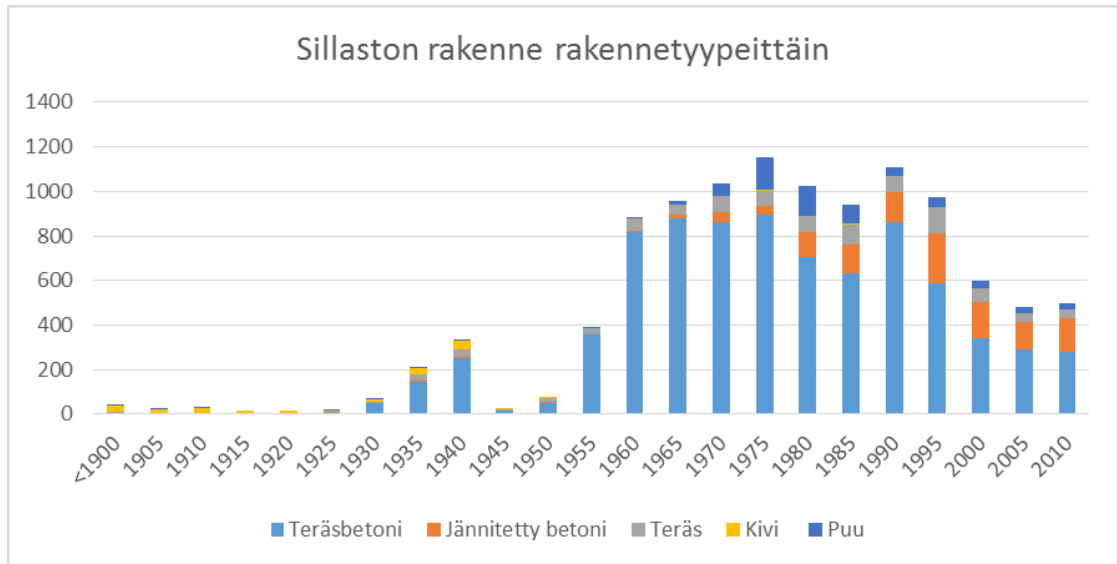


Kuva 8. Nykyinen raskas ajoneuvoyhdistelmä painaa enintään noin 76 tonnia (yhdeksän akselia). Akselien laskennallinen kokonaisvälimatka on 19,3 metriä (8).

2.3 Sillaston rakenne

Tiesiltoja Suomessa oli vuonna 2013 noin 14 750 kappaletta yleisillä teillä. Jos mukaan luetaan myös kaupunkien ja yksityisteiden sillat, nousee tiesiltojen lukumäärä yli 20 000:een. Siltojen ja väylien määrä on lisääntynyt etenkin 1960-luvulta 1990-luvulle paljon. Huomattavaa on, että yksiaukkoisten teräsbetonisten laattasiltojen osuus betonisista silloista on yli 60 % ja kaikista silloista noin 24 %. (9.)

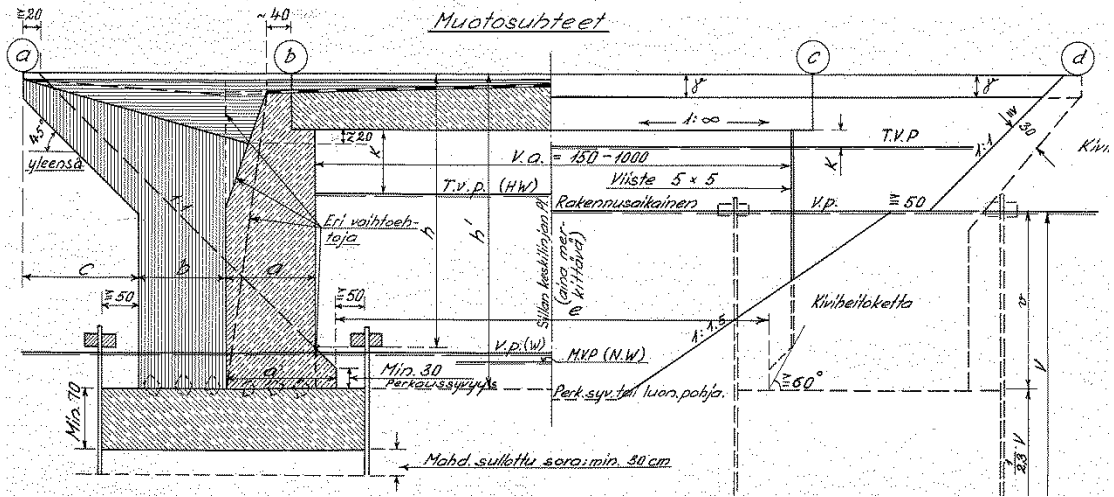
Jännitetyt betonisillat ovat kasvattaneet suosiotaan 70-luvulta lähtien, kun menetelmät ovat kehittyneet. Teräsrakenteiset sillat eivät ole Suomessa saaneet kovinkaan suurta suosiota, vaan niitä on tehty vain kymmenkunta vuosittain. Puisia siltoja rakennettiin enemmän 70-luvulla, mutta niiden suosio ei ole noussut koskaan kovin suureksi. Yksiaukkoinen tb-laattasilta on selvästi käytetyin siltatyyppejä Suomessa, ja niitä on tällä hetkellä liikenteen käytössä noin 3 500 kappaletta. (2.)



Kuva 9. Valmistuneiden siltöjen määrät rakennustyypeittäin eri vuosina. Rakennetut sillat on kuvattu 5 vuoden jaksoina (2).

Teräsbetonisten laattasiltojen rakenne on hyvin yksinkertainen: Silta on tuettu molemmilta puolilta maatuilla ja kantavana rakenteena on laakereilla lepäävä teräsbetonilaatta. Vanhimmat Liikenneviraston hallussa olevat arkistotyyppipiirustukset ovat vuodelta 1942. Sillan pituussuunnassa on pieni, noin 1 % sivukaltevuus. Vedeneristysenä käytettiin jutekangasta ja kaksinkertaista kumibitymisivelyä. Kaidepylväät valettiin betonista ja ne olivat matalia, noin 600 mm korkeita. Siltajohteet tehtiin tuohon aikaan puusta. Tällaisia kaiteita on nähtävissä vielä useissa paikoissa, vaikka ne ovatkin kaukana nykystandardien mukaisista vaatimuksista. (8.)

Maatuet silloilla olivat hyvin massiivisia sillan kokoon nähden. Tukirakenteissa käytettiin useasti säästöbetonia, eli betonimassan sekaan laitettiin valuvaiheessa todella suuria kiviä, mikä vähensi betonin määrän tarvetta. Peruslaatat olivat minimissään 700 mm paksuja, mutta usein jopa metrin paksuisia (Kuva 10).



Kuva 10. Teräsbetonisen laattasillan alusrakenteen tyypipiirustus vuodelta 1959 (10)

2.4 Sillaston kunto

Liikenneviraston tekemästä selvityksestä 1.1.2010 selviää monipuolista tietoa Suomen siltojen kunnosta ja määrästä. Samassa julkaisussa kerrotaan ja perustellaan, miksi maamme siltojen peruskorjausten tarve on lisääntynyt paljon viimeisen kymmenen vuoden aikana (2). Yhtenä suurimpana syynä on Suomen siltojen ikärakenne.

On selvää, että valtion ylläpitämillä silloille tarvitaan rahoitusta, sillä huonokuntoisilla silloilla liikennöiminen on liikenneturvallisuuden vaarantamista. Joitakin teitä ei voida millään katkaista huonokuntoisen sillan takia, joten tällaisille korjauskohteille on löydettävä aina resursseja.

Suomen väyläomaisuuden korjausvelka on Liikenneviraston tekemän tutkimuksen mukaan vuonna 2010 yhteensä noin 2 165 miljoonaa euroa. Korjausvelalla tarkoitetaan huonokuntoisten, korjaustarpeessa olevan väyläomaisuuden korjauskustannusten yhteenlaskettua summaa. Tämä summa on jakautunut maanteille, rautateille ja vesiväylille, joskin vesiväyliin osuus velasta on vain noin 1,6 %. Tieverkon ja rataverkon korjausvelka on miltei yhtä suuri. Siltojen osuus korjausvelasta on noin 231 M€ tieväylillä ja 21 M€ rataverkolla.

(11.)

2.5 Siltojen kunnon seuranta

Liikennevirasto hallinnoi siltojen kunnon seurantaa ja tämän tieosaston siltojen kuntoa seurataan perustapauksissa noin viiden vuoden välein tehtävällä yleis-tarkastuksella. Normaali tarkastusväli voi vaihdella kuitenkin kolmesta seitsemään vuoteen riippuen sillan iästä, kunnosta ja havaittujen vaurioiden määrästä ja laadusta. Sillan yleistarkastus sisältää sillan perustietojen kirjaamisen, liikennemäärät, suunnittelukuormat, painorajoitukset, vauriot ja yleisen kuntoarvion. (9, 12.)

Yleistarkastuksen tarkoituksena on silmämääräisten havaintojen avulla tehdä sillalle yleinen kuntoarvio. Samalla voidaan määrittää sillalle tehtävät jatkotoimenpiteet ja tarvittavat korjaustoimet tai tarkastukset tietyn aikavälin sisällä. Nämä määrittelyt tehdään esimerkiksi vaurioluokituksen ja kiireellisyysluokituksiin perustuen. Vesistösillan tapauksessa voidaan joutua tekemään myöskin sukellustarkastus, jotta veden pinnan alapuolella olevat rakenteet nähdään kunnolla. (12.)

Jos sillassa huomataan vaurioita, jotka vaativat erityistä huomiota, voidaan sillalle tehdä myös erikoistarkastus tai vaatia tehostettu tarkkailujakso. Toisin kuin yleistarkastuksessa, erikoistarkastuksessa käytetään sillan kunnon arviointiin monia muita menetelmiä silmämääräisten havaintojen ohella. Näitä menetelmiä ovat esimerkiksi näytepalojen analysointi laboratoriossa, missä voidaan selvittää mm. betonin karbonatisoituminen, kloridien tunkeutumisvyvyys ja raudituksen ruostumisen etenemä. (9, 12, 13.)

Erikoistarkastuksen tavoitteena on antaa kokonaiskuva sillan vaurioista korjaussuunnittelun lähtötiedoiksi. Erikoistarkastus voi olla myös rajattu koskemaan vain tiettyjä sillan rakenneosia. (9, 13.)

Sillantarkastuksen voi tehdä pätevyyden hankkinut sillantarkastuskonsultti. Sillan tarkastus tehdään yleensä liikenneviraston ohjeistuksen mukaisesti, *Sillantarkastuskäsikirja*-julkaisun pohjalta (12). Tässä ohjeistuksessa sekä eri vaurioille, että kiireellisyydelle annetaan numeerinen arvo sen vakavuudesta ja korjaustarpeesta. Tiedot kirjataan liikenneviraston ylläpitämään siltarekisteriin.

2.6 Siltarekisteri

Siltarekisteri on siltojen perustietovarasto, josta löytyy kaikkien yleisten teiden perustiedot sekä asiakirjoja, kuvia ja tutkimustuloksia tarkastustoiminnan seurauksena. Siltarekisterin perustietojen oikeellisuudesta ja päivittämisestä vastaa periaatteessa paikallinen ELY-keskus, mutta useassa tapauksessa päteväytyneet sillantarkastuskonsultit muokkaavat ja päivittävät siltojen tausta- ja kuntotietoja siltarekisteriin tarkastusraportin teon yhteydessä. Siltarekisteriä on alettu käyttää yleisten teiden siltojen tietojen keräämiseen 1990-luvulla. (14.)

Sillantarkastuskonsulteille siltarekisteri on paras tapa etsiä ajantasaista tietoa siltojen kunnosta. Siltarekisteriä pääsevät lukemaan myös henkilöt, jotka ovat käyneet siltarekisterin käytön peruskurssin. Usein näille kursseille otetaan lähinnä Liikenneviraston, ELY-keskusten infra-alan toimihenkilöitä ja kunnan edustajia, kuten myös infra-alan konsulttitoimistojen toimihenkilöitä.

Siltarekisteriin kirjatun sillan tiedoista löytyvät seuraavat asiat:

- Hallinnolliset tiedot
- Tie- ja liikennetiedot
- Rakenne- ja mittatiedot
- Suunnittelu- ja rakentamistiedot
- Varusteiden ja laitteiden tiedot
- Tarkastus-, vaurio- ja kuntotiedot
- Suunniteltujen ja toteutettujen korjausten tiedot

Siltarekisterin ansiosta on mahdollista seurata sillaston kuntoa reaaliaikaisesti, ja mitoittaa vuosibudjetti rekisterissä olevien tietojen perusteella kaikkein akuuteimpiin, korjaustarvetta vaativiin siltoihin.

3 RAIKAN SILTA

3.1 Siltapaikan sijainti

Raikan silta (KaS-661) sijaitsee Rautjärven kunnassa maantiellä n:o 14895 (Simolanmäentie). Simolanmäentie liittyy valtatie 6:een. Tarkka tieosoite on 14895-2-2749. (15.)

Tieosoitejärjestelmästä voidaan siltapaikan sijainti tiellä määritellä tarkasti metrin tarkkuudella. Ensimmäinen luku kertoo tienumeron ja sen, onko kyseessä valtatie, kantatie, yhdystie ja niin edelleen. Tie 14895 on yhdystie (tienumerot 1000–19999). Vanhan maantielain mukaan tie voitaisiin luokitella myös paikallistieksi (tienumerot 11000–19999). Niin kutsutut paikallistiet ovat uuden vuonna 2006 julkaistun asetuksen mukaan muutettu yhdystie-nimikkeen alle. (16.)

Keskimmäinen luku 2 tieosoitteessa ilmoittaa tieosan numeron. Viimeinen luku kertoo metrimäärän tieosuuden alusta eli tässä tapauksessa 2749 metriä siitä kohdasta, jossa tiellä 14895 alkaa tieosuus 2. Tieosuuden katsotaan alkavan yhdysteissä usein kaupungeista ja asutuskeskuksista poispäin tai valtateiltä pienemmille teille. Näin saadaan yksiselitteinen inventointisuunta eli tienumeron kasvusuunta. (17.)

Raikan silta ylittää salmen kahden lammen välissä: Ruokolammen ja Keskimmäisen. Heti sillan jälkeen pohjoiseen päin kuljettaessa tiessä on liittymä Raikanniemeen. Sillan kohdalla tien korkeustaso on hieman ylempänä kuin ennen ja jälkeen sillan. Sillan ylittävällä väylällä on voimassa nopeusrajoitus 80 km/h.

3.2 Sillan ominaistiedot ja rakenne

Nykyinen Raikan silta on vuonna 1963 rakennettu teräsbetoninen laattasilta, joka liittyy sorapintaiseen yhdystiehen. Silta on perustettu massiivisille maatuille maanvaraisesti siltarekisterin tietojen mukaan. Vanhoja rakennepiirustuksia ei ole saatavilla, joten sillan alapuolisista maakerroksista ei ole tietoa. (15.)

Silta luokitellaan vähäliikenteiseksi, sillä ylittävällä väylällä kulkee vuonna 2011 tehdyn tutkimuksen mukaan keksimäärin 72 ajoneuvoa vuorokaudessa. Vähäliikenteiseksi sillaksi luokitellaan liikenneviraston ohjeistuksen mukaisesti väylät joiden vuorokauden keskimääräinen ajoneuvoliikenne on alle 350 ajoneuvoa. (18.)

Seuraavassa on esitetty nykyisen siltarakenteen ominaismittoja:

- Sillan jännemitta = 5,0 m
- Vapaan aukon pituus = 4,7 m
- Hyödyllinen leveys (HL) = 6,0 m
- Alikulkukorkeus (uoman pohjasta) = 2,2 m
- Sillan kokonaispituus = 10,6 m

3.3 Sillan kunto

3.3.1 Erikoistarkastuselostus

Sillalle on tehty elokuussa vuonna 2012 erikoistarkastus. Erikoistarkastuksen suorittivat päätarkastaja Simo Siippola ja toisena tarkastajana DI Mikko Riita-oja. Erikoistarkastuksen osana sillalle tehtiin yleistarkastus ja sillan kunto arvioitiin sillantarkastuskäsikirjan nimikkeistöä noudattaen. Yleisarvio oli että sillan kunto on nykyisellään huono (sillantarkastuskäsikirjan arvosana 3). Sillan mahdollisista aikaisemmista korjaustoimenpiteistä ei ole dokumentoitua tietoa. Seuraavassa on muutamia otteita havaituista rakenteellisista vaurioista ja sil-
tapaikan puutteista, mitkä todettiin erikoistarkastusta tehdessä:

- Etumuureissa ja siipimuureissa on rapautumaa ja/tai valuvikoja
- Reunapalkit ovat ruostuneet ja reunapalkkien liikuntasaumat eivät ole vesitiiviit
- Kansilaatan reunoilla ja alapinnassa on selvää rapautumaa
- Sillankaiteessa on huomauttamista: esim. liian matala, kaidepylväät harvalla jaolla (3 m) ja niiden juurissa on ruostumista.
- Pengerkaiteiden pituus ei täytä nykystandardien mukaista pituutta.
- Sillan sorapäällyste on kuoppainen.



Kuva 11. Sillan kannen reuna/reunapalkki on pahoin rapautunut (kuva otettu 22.10.2014).



Kuva 12. Sillan maatuen etumuurissa olevaa rapautumaa (kuva otettu 14.8.2012).



Kuva 13. Siipimuurin rapautumaa (kuva otettu 14.8.2012).



Kuva 14. Sillan kannen alapinnan rapautumaa (kuva otettu 14.8.2012).

3.3.2 Omat havainnot

Käynti siltapaikalla tehtiin 22.10.2014. Tarkoitus oli tutkia erikoistarkastuksessa todettuja vahinkoja tarkemmin ja katsoa, ovatko vahingot mahdollisesti pahentuneet. Erikoistarkastuksesta oli kulunut yli kaksi vuotta ja sillalle ei tietävästi ole tehty korjaustoimenpiteitä sen jälkeen. Paikoin vauriot olivat sen sijaan selvästi pahentuneet. Muun muassa sillan vasemmalla oleva betoninen kaidepylväs olisi pitänyt korjata heti kun murtuma on havaittu. Nykyisellään kaidepylväs tuskin voi ottaa vastaan kovin suurta törmäyskuormaa.



Kuva 15. Sama kaidepylväs kuvattuna syksyllä 2012 ja syksyllä 2014

Rapaumat maatuissa olivat myös todella syviä ja etenkin keskiveden tasolla ulottuivat siipimuurinkin pinnalle. Syvin mitattu kolo etumuurissa on peräti noin 500 mm syvä. Aikakauden mukaisesti maatuet rakennettiin hyvin massiivisiksi ja tässä tapauksessa tämän kokoisen sillan etumuuri on arviolta 800–1000 mm paksuinen. Maatuissa ei havaittu lainkaan painuman aiheuttamia vaurioita tai ylipäättään painumista.

3.3.3 Muu lähtöaineisto

Siltarekisteri ja muut vastaavat tiedonlähteet on otettu huomioon sillan kuntoa tarkasteltaessa. Siltarekisteriin tallennetaan muun muassa sillalle tehdyt peruskorjaukset ja yleistarkastukset (kohta 3.2).

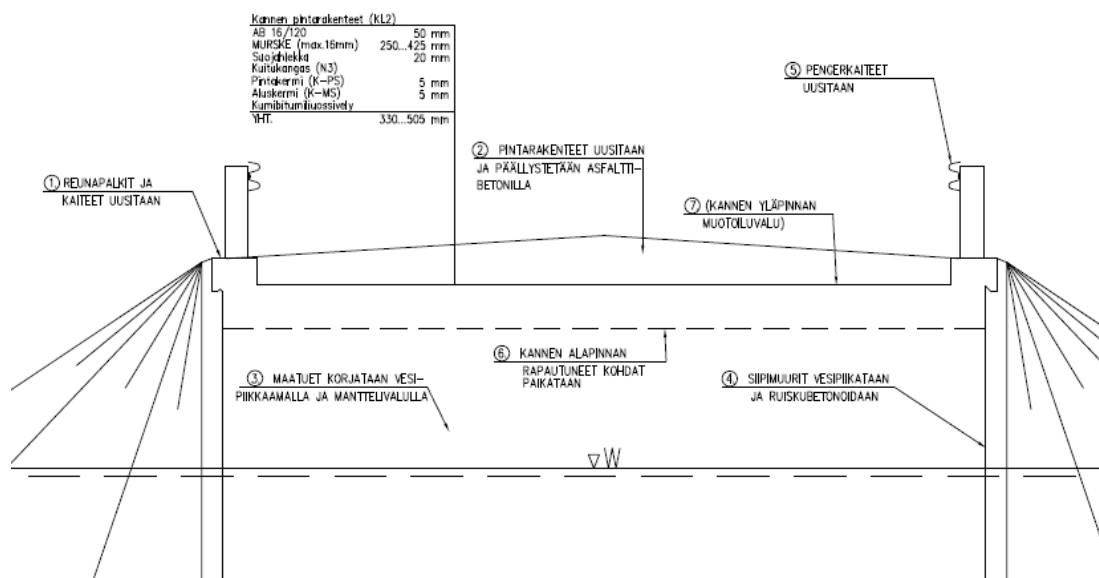
4 KORJAUSVAIHTOEHDOT

4.1 Peruskorjaus

Rakenteiden peruskorjaus on todennäköisesti lyhyellä aikavälillä kaikista halvin vaihtoehto korjata nykyistä siltaa. Korjausmenetelmässä varsinaisia rakenteita ei vaihdeta kaidetta lukuun ottamatta, jos se ei ole aivan välttämätöntä. Lähtökohtana on että sillan vauriot korjataan niin, että ne eivät etene pahemmaksi.

Peruskorjauksen ongelmana on se, että syvemmillä mahdollisia olevia vaurioita ei voida korjata, vaan korjaustoimenpiteet jäävät hyvin pintapuolisiksi. Lisäksi epävarmuustekijäksi jäi se että nykyisen sillan kannen laatan raudoituksesta ei ole tietoa, sillä korjauksen lähtötiedoiksi ei löytynyt lainkaan suunnittelukuvia tai rakennepiirustuksia. On kuitenkin todennäköistä, että silta on rakennettu oman aikakautensa yleisesti käytössä olevan tyyppipiirustuksen mukaan. Rakentamisaikaisista virheistä tai puutoksista ei voida kuitenkaan varmuudella sanoa juuri mitään. Vanhojen tyyppipiirustusten arkisto löytyy Liikenneviraston sivuilta. (6.)

Reunapalkin korjaukseen käytettävän toimenpiteen periaatekuva on löydettävissä Liikenneviraston ohjeessa: *Betonisiltojen korjaussuunnitteluohje*, sekä SILKO-ohjeessa 2.211 (19).



Kuva 16. Peruskorjauksen poikkileikkaus ja korjaustyöt. Kuvassa vanhan sillan poikkileikkaus.

Seuraavassa on esitetty peruskorjaukseen kuuluvat toimenpiteet esimerkki-kohteelle:

1. Sillan reunapalkit uusitaan kokonaisuudessaan. Vanhat reunapalkit poistetaan ja vanhaan rakenteeseen tehdään ankkurointiporaukset ja ankkuroinnit. Uusi reunapalkki valetaan siten, että tien hyödyllinen leveys kasvaa samalla 0,5m. Ankkurointimassana esim. Hilti HIT-RE 500.
2. Pintarakenteet uusitaan sillan kohdalla ja päällystetään asfalttibetonilla. Asfalttibetonilla päällystetään myös tietä 10 metriä ennen ja jälkeen sillan.
3. Maatuet korjataan vesipiikkaamalla ja alaosa korjataan manttelivalulla. Maatukien etumuurien yläosa korjataan ruiskubetonoimalla. Manttelivalu ulottuu osin myös sillan siipimuurien puolelle.
4. Sillan siipimuurit vesipiikataan ja ruiskubetonoidaan. Alaosassa korjaus tehdään manttelivalulla.
5. Pengerkaiteet uusitaan ja jatketaan standardien mukaiseen pituuteen.
6. Kannen alapinnan rapautuneet kohdat paikataan valumattomalla korjauslaastilla.
7. Sillan kannen yläpintaan voidaan joutua tekemään muotoiluvalu, riippuen betonipinnan kunnosta.

Muotoiluvalun tarve selviää vasta kun sillan pintarakenteet on purettu. Joitakin kohtia joudutaan todennäköisesti joka tapauksessa paikkaamaan esim. juotoslaastilla, vaikka koko kantta ei tarvitsikaan valaa. Yksi vaihtoehto paikallisten vaurioiden korjaamiseen on käyttää epoksin ja hiekan seosta. Tällä seoksella paikkauksen tekeminen ei aiheuta ylimääräistä aikarastitusta, sillä se kovettuu todella nopeasti. Muotoiluvalu tehdään vain jos kannella on laajoja vaurioita tai sillan kannen viettokaltevuus on alle 1 %. (20.)

4.2 Kansirakenteen uusiminen

Mikäli kansirakenne uusittaisiin, tulisi sillalle uusi kansi, mutta betoniset maatuet jäisivät paikoilleen. Nykyisen kannen kaikissa pinnoissa on vakavia rapautumia ja niiden paikkaaminen saattaa olla pitkällä aikavälillä heikompi ratkaisu kuin se, että kansi uusittaisiin kokonaisuudessaan. Myös sillan laakeritasot saataisiin kunnostettua, jos vanha sillan kansi puretaan ja vaihdetaan uuteen.

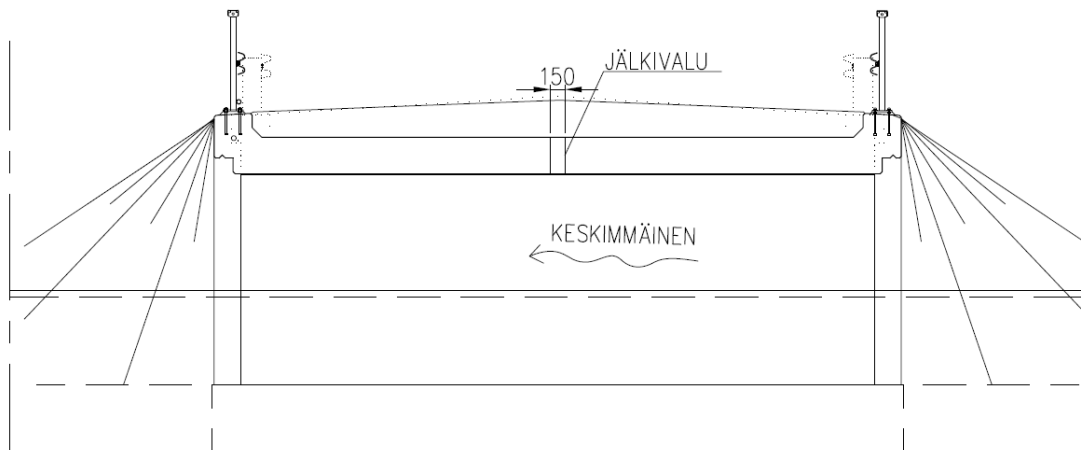
Kansirakenne voidaan uusida nykyiselle sillalle usealla eri tavalla ja usealla eri rakennusmateriaalilla. Tässä opinnäytetyössä on käsitelty kolme eri vaihtoehtoa. Riippumatta millä tavoin nykyinen kansirakenne uusittaisiin, maatuille tehtävä korjaustoimenpide on kaikissa sama kuin peruskorjausvaihtoehdossa esitetty (kohdassa 4.1).

4.2.1 Elementtirakenteinen betonikansi

Elementtirakenteinen uusi kansirakenne toteutettaisiin kahdesta eri teräsbetonelementistä, joiden väliin tulee jälkivalu. Sillan jännemitan takia kaksi elementtiä on ehdoton minimi, koska elementtien paino on tässä tapauksessa noin 19 tonnia. Elementtirakenteisen kannen etuna on luonnollisesti se, että sen kuivumisaika on siltapaikalla paljon lyhempi kuin paikalla valetun rakenteen jos elementti tehdään tehtaalla.

Toinen vaihtoehto on valaa elementti siltapaikan vieressä omalla muotilla. Tällöin laadunhallinta vaatii enemmän tarkkutta, sillä valu tehdään ulkoilmassa. Toisaalta elementin voi antaa rauhasa kuivua siltapaikalla ennen kuin se nostetaan puretun osan kohdalle, mikä vähentää huomattavasti liikennehaittaa.

Elementtirakenteen ongelmat muodostuvat usein kuljetusten ja nostojen vaikeudesta. Elementteihin voidaan tehdä nostolenkit, mikä helpottaa elementtien tasapainottamista nostoissa. Seuraavassa kuvassa on esitetty betonielementtikannen peruseriaate ja korjattavan sillan poikkileikkaus.



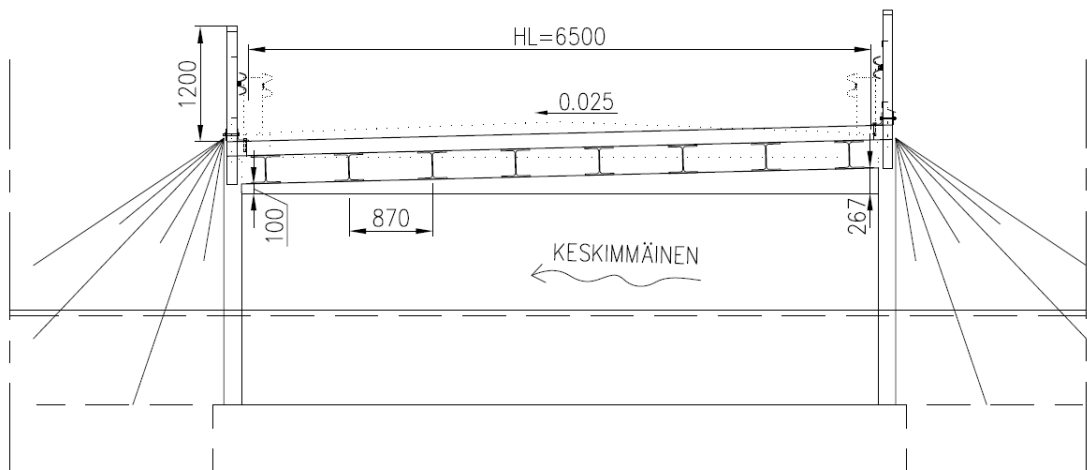
Kuva 17. Poikkileikkaus teräsbetonielementtikannesta

4.2.2 Teräspalkit ja puukansi

Valssattujen teräspalkkien käyttö kansirakenteena on muualla Euroopassa paljon yleisempää kuin Suomessa. Materiaalimenekki on tällöin myös pienempi kuin betonirakenteessa. Teräsrakenteiden etuna onkin se, että niillä saadaan melko pitkiä jännemittoja käyttämällä suhteellisen hoikkia rakenteita.

Tämä johtaa myös siihen, että sillan kannen paino on itse asiassa pienempi kuin alkuperäisessä kansirakenteessa. Tämä auttaa saamaan sillan kantavuuden nykystandardien mukaiseksi maanpaineen osalta. Alustavan mitoituksen perusteella kantavaksi rakenteeksi käyvät HEA 320 -palkit, joiden k/k väli on 870 mm. Kantavia teräspalkkeja tarvitaan 8 kappaletta. (21.)

Tässä vaihtoehdossa sillan laakeritasoja on korotettava ja laakeritasolle on valettava yksipuoleinen sivukaltevuus pintavesien ohjaamiseen. Korotuksen suuruus on noin 100...267 mm. Puukansi toteutetaan 50x150 syrjälleen naulatusta sahatavarasta (C30).

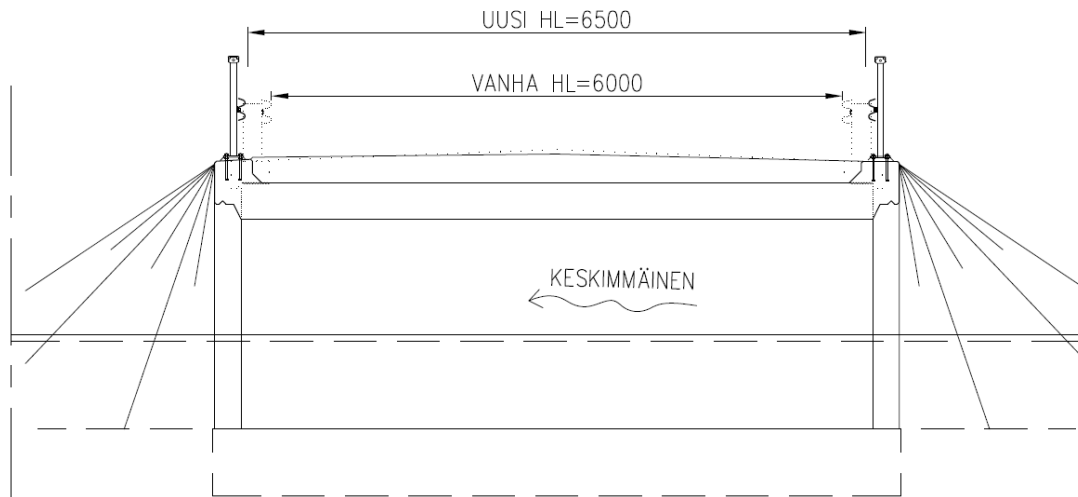


Kuva 18. Poikkileikkaus sillan korjauksesta, jossa on käytetty kantavana rakenteena teräspalkkeja (HEA) ja puukantta.

4.2.3 Paikalla valettu betonikansi

Kansirakenteen uusiminen voidaan toteuttaa paikallavalurakenteena, missä vanha kansirakenne puretaan ja uusi kansi valetaan siltapaikalla. Korjaus sisältää periaatteessa samat toimenpiteet kuin peruskorjauksessa, mutta sen sijaan että vain reunapalkit tehtäisiin uudestaan, koko kansi valetaan uudesta

betonista. Nykyisillä laadunhallintatoimenpiteillä uudesta teräsbetonikannesta saataisiin varmasti kestävämpi ja laadukkaampi kuin vanhan kannen peruskorjattu vaihtoehto.

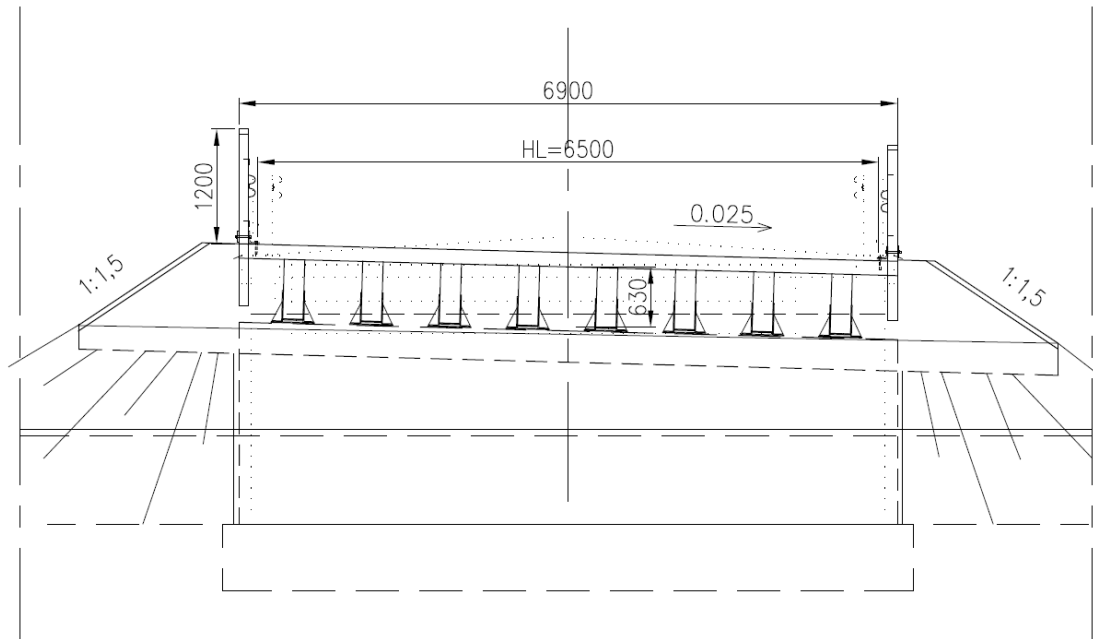


KUVA 19. Poikkileikkaus, paikallavalettu betonikansi

4.3 Uuden sillan rakentaminen

Uuden sillan rakentaminen voi tulla kyseeseen, jos siltapaikalla havaitaan maatumien painumia tai muita rakenteellisia vaurioita. Erikoistarkastusselostuksessa on myös ehdotettu, että vanha silta ”käytetään loppuun” niin, että liiketurvallisuus kuitenkin säilytetään. Kustannussyistä kokonaan uuden sillan rakentaminen on kuitenkin hyvin epätodennäköistä tässä vaiheessa sillan käyttöikää (~50 vuotta).

Tässä opinnäytetyössä on käsitelty uuden sillan rakentamisvaihtoehtoa. Uuden sillan rakennetyyppi on esimerkkitapauksessa liimattu puupalkkisilta. Liimapuusiltaan päädyttiin, koska se on tämän kokoisessa sillassa kustannustehokas ja suhteellisen nopea toteuttaa. Alustavan mitoituksen perusteella pääkannattimien koko on 190x690 GL30c –liimapuu. Naulattu syrjälankkukansi on sama kuin teräspalkki-vaihtoehdossa eli 150x50 sahatavaraa.



Kuva 20. Poikkileikkaus, liimattu palkkisilta

4.4 Vertailun ulkopuolelle jääneet vaihtoehdot

Aiheen rajaamisen vuoksi joitakin korjausvaihtoehtoja ei ole otettu varsinaiseen vertailuun mukaan. Ei ole kuitenkaan syytä jättää huomioimatta alla esitettyjä vaihtoehtoja, sillä ne voivat osoittautua joissakin kohteissa hyväksi. Seuraavaksi on esitelty muutamia kohtia, joita suunnittelijan olisi hyvä tarkastella tehdessään korjaussuunnitelmaa sillalle.

4.4.1 Liimapuupalkit

Puun käyttö siltarakentamisessa ja korjauksessa kantavana rakenteena on harvinaisempaa verrattuna betonin tai teräksen käyttöön. Puun käytön lisäämiselle ei tosin ole mitään estettä, sillä sen hinta pärjää vertailussa jokseenkin hyvin betonin ja teräksen kanssa. Opinnäytetyössä ei käsitellä, kuinka kannen korjaaminen liimapuupalkkien avulla olisi pärjännyt vertailussa muiden vaihtoehtojen kanssa johtuen siltapaikan rakenteesta.

Vanhan betonikannen uusiminen puupalkkien avulla aiheuttaa sen, että rakennekorkeus muuttuu olennaisesti, riippuen tietenkin laattasillan päällysteen paksuudesta. Maatukien laakeritasoja ei käytännössä voida alentaa, joten tien tasauksesta tulee korkeampi. Tämä aiheuttaa sen, että penkereelle joudutaan

tekemään paljon lisätäyttöä, jotta tasaus saataisiin muuttumaan jouhevasti sillan kohdalla.

Vertailun vuoksi ohessa on lyhyt laskelma, kumpi olisi kannattavampaa: puupalkkien vai teräspalkkien käyttö. Rakennusaika on molemmissa miltei sama, jos ei huomioida puupalkkien tapauksessa tarvittavaa tieosuuden lisäpengerystä.

Sillan kustannusarvio-ohjeessa yksiaukkoisen laattasillan rakenneteräksen yksikköhinta on 1,6 €/kg. HEA 300-palkin paino metriä kohden on 83,2 kg/m. Kyseisen teräspalkin metrihinnaksi muodostuu $1,6 \frac{\text{€}}{\text{kg}} \cdot 83,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 133,12 \frac{\text{€}}{\text{m}}$.

Liimatun puupalkin yksikköhinta on puolestaan edellä mainitussa ohjeessa 923 €/m³. Uuden sillan rakennusvaihtoehdossa käytetyn palkin poikkileikkausala on $(0,215 \cdot 0,63) \text{m}^2 = 0,1355 \text{m}^2$. Liimapuupalkin metrihinnaksi muodostuu $0,1355 \text{m}^2 \cdot 923 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 125,07 \frac{\text{€}}{\text{m}}$.

Laskelman perusteella puupalkit maksavat tässä kohteessa noin 6,5 % vähemmän kuin teräspalkit. Toisaalta, puupalkit tarvitsevat vielä esimerkiksi jäykisteeksi teräksiset holkit, joiden avulla estetään sivuttaissuuntainen liike. Kokonaiskustannukset asettuvat lopulta jotakuinkin samansuuruisiksi.

4.4.2 Vaihtoehtoinen vedeneristys

Korjausvaihtoehtojen vertailussa ei ole huomioitu sitä, että vedeneristys voidaan toteuttaa muullakin tavalla kuin kermirakenteisena. Kermieristys on otettu vaihtoehtotarkasteluun siksi, että se on kaikista yleisimmin käytössä oleva, kestäväksi osoitettu vedeneristysratkaisu. Muita vaihtoehtoja ovat nestemäisenä levitettävä eristys ja mastiksieristys.

Vaihtoehtoisten vedeneristysmateriaalien käyttöä perustellaan käytännössä sillä, että niiden avulla voidaan saavuttaa merkittävää rakennusajan lyhentymistä. Mastiksieristys ja nestemäisenä levitettävä eristys ovat kermieristystä paljon nopeampia tehdä, mutta useassa tapauksessa mastiksi ei pärjää käyt-

töiän puolesta, eikä nestemäisenä levitettävä eriste hinnan puolesta kermieristykselle. Keskisuurissa silloissa vedeneristystyön kesto ei yleensä ole olennainen kustannusten lisääjä.

4.4.3 Teräspankksilta

Sillan uusiminen voidaan yksinkertaisimmillaan toteuttaa käyttämällä aallotettua, teräksestä valmistettua (sinkittyä) putkea tai rumpuputkea. Vanha silta puretaan kokonaisuudessaan, minkä jälkeen uudelle putkelle tehdään murskearina. Uuden teräspanken asennus on nopeaa ja voidaan joissakin tapauksessa toteuttaa puoli putkea kerrallaan, joten liikennettä ei jouduta katkaisemaan. Vesistösillassa veden kulkuaukko ei saa kuitenkaan olla pienempi kuin alkuperäisessä sillassa.

Vanhan betonisen laattasillan korvaaminen teräspankella voi osoittautua hankalaksi, sillä massiiviset anturat on purettava kokonaisuudessaan ennen kuin uusi putki voidaan asentaa.

5 VALINTAPERUSTEET

5.1 Kokonaistaloudellisuus

Julkisten hankkeiden kilpailutuksessa pyritään käyttämään perusteena kokonaistaloudellisesti edullisinta vaihtoehtoa. Vaikka tässä tapauksessa ei olekaan kyse varsinaisesta kilpailuttamisesta, pätevät samat periaatteet vaihtoehtojen kokonaisvaltaiseen tarkasteluun. (22.)

Kokonaistaloudellisuus tarkoittaa sitä, että toteutettavan vaihtoehdon kriteereinä on mahdollisimman tasapainotettu hinta-laatu -suhde, mikä sopii budjettiin. Joka tapauksessa valitun vaihtoehdon tulee soveltua kohteeseen teknisesti.

5.2 Korjauskustannukset

Hinnan painoarvo vaihtelee julkisten hankkeiden kilpailutuksessa 30 prosentista aina 100 %:iin (22.) On kuitenkin korostettava, että halvin ratkaisu ei välttämättä ole kaikista kokonaistaloudellisin pitemmällä aikavälillä. Seuraavissa

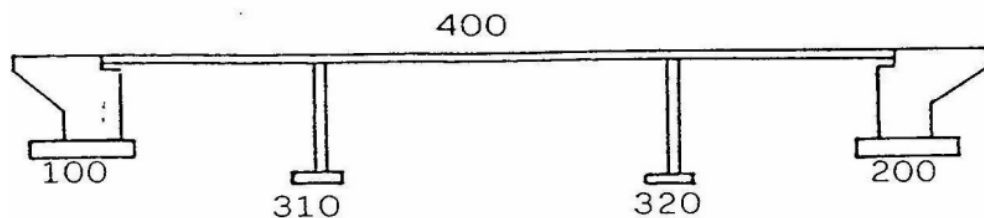
kohdissa esitellään yleisiä periaatteita sillan kustannusten arviointiin, ja laske-
taan kullekin edellä mainitulle korjausvaihtoehdolle oma korjauksen kustan-
nusarvionsa.

5.2.1 Yleistä siltojen kustannuslaskennasta

Rakennuskustannukset nousevat usein merkittävimmäksi tekijäksi, kun tar-
kastellaan vaihtoehtoja rakennus- ja korjausprojekteissa varsinkin jos rahoitus
on tiukassa tai tieosuudella on pieni liikennemäärä.

Seuraavassa käydään tarkoin läpi eri korjausvaihtoehtojen kustannuksia ja
analysoidaan, mistä eri vaihtoehtojen kustannuserot johtuvat. Kunkin sillan
määrätiedot on täytetty SILAVA 2009 -ohjelmaan, mikä käyttää yksikköhintoi-
naan Tiehallinnon *Sillan kustannusarvio* -ohjeessa määritellyjä arvoja. Kustan-
nukset on laskettu myös karkeasti Liikenneviraston *Sillantarkastuskäsikirja* -
julkaisussa mainittujen yksikköhintoihin perustuen. Niiltä osin kuin kustannus-
tietoja ei löytynyt kummastakaan edellä mainituista julkaisusta, kustannusyk-
sikkönä käytetään eri urakoitsijoiden ilmoittamia yksikköhintoja. (12, 23.)

Määrälaskennassa ja kustannustietojen numeroinnissa käytetään infra-RYL:n
mukaista nimikkeistöä. Sillan osille annetaan sillan määräluettelo-ohjeen mu-
kaiset sijaintitunnukset (000-900) (24). Tämä helpottaa kunkin rakennusosan
osuuden arvioimista kokonaiskustannuksista. Seuraavassa kuvassa on esi-
tetty laattasillan rakennusosanumerointiperiaate (jatkuva).



Kuva 21. Jatkuvan laattasillan tunnusnumerointi rakennusosittain (24)

Koska esimerkkitapauksessa, eli Raikan sillassa kyse on yksiaukkoisesta laa-
tasillasta, välitukien erittely on jätetty kokonaan pois. Samoin maatuot 1 ja 2

ovat samanlaisia ja niille suoritetaan samanlainen korjaustoimenpide. Tästä syystä on niille annettu yhteinen tunnus: 300.

Jokaiselle korjausvaihtoehdolle on laskettu kustannusarvio edellä mainituin perustein. Saatuun perushintaan (ALV 0 %) lisätään vielä työmaan käyttö- ja yhteiskustannukset ja kustannusten indeksimuutos. Työmaan käyttökustannukset koostuvat mm. työmaan käynnistys-, kalusto- ja kuljetuskustannuksista. Työmaan yhteiskustannukset koostuvat mm. rakennustyömaan hallinnosta, avustavaista rakennustöistä, sopimuspohjaisista erityiskuluista, vakuuksista sekä työntekijöiden palkanlisistä ja sosiaalikulusta. (23, 25.)

Sillan kustannusarvion laskennassa käytettiin työmaan käyttö- ja yhteiskustannuksien laskemiseen 25 %:a sillan rakentamiskustannuksista. Sillan kustannusarvio ohjeessa yksittäisissä siltakohteissa yhteiskustannusprosentti on 20–25 %. (23.)

Elementtirakenteisissa betonisilloissa ja terässilloissa sallitaan kuitenkin harkinnan mukaan käyttää pienennettyä yhteiskustannusten osuutta, sillä esivalmistettujen osien käyttäminen rakentamisessa vähentää työmaan yhteiskustannuksia. Pienennetyn yhteiskustannusten osuus rakennuskustannuksista on 16 – 20 %. Esimerkkitapauksissa elementtivaihtoehdoille on käytetty normaalista 25 %:in arvoa, koska elementtityön osuus korjaustoimenpiteistä on suhteellisen pieni.

Kustannusten indeksimuutokselle käytettiin tilastokeskuksessa päivittyvää maanrakennuskustannusindeksiä 2000=100 sillanrakennustöille. 20.11.2014 tämä indeksi oli 168,6. Yhteensä hintaa korotetaan yhteiskustannusten aiheuttama lisä kerrottuna kustannusindeksin korotuksella, eli noin $1,25 \times 1,686 = 2,1075$. (26.)

5.2.2 Korjausvaihtoehtojen kustannusarviot

Peruskorjauksen kustannukset muodostuivat pääasiassa reunapalkin korjauksesta, manttelivaluista ja muottitöistä. Korjauksen kokonaiskustannukset olivat

alustavan laskelman mukaan noin 80 800 €. Tätä voidaan vertailla erikoistarkastusraportissa tehtyyn karkeaan kustannusarvioon, joka oli yhteensä 98 100€ (15.)

Taulukko 2. Erikoistarkastusraportissa esitetty kustannusarvio rakennusosittain

Päällysrakenteet	15770
Alusrakenteet	19200
Sillan varusteet	13850
Pintarakenteet	8225
Siltapaikan kunnostus	14900
Liikennejärjestelyt	2000
Työmaan yhteiskust.(30%)	22183,5
Kustannustason noususta aih. Muutos	2000
Yhteensä	98100

Ero johtuu pääasiassa siitä, että erikoistarkastusraportissa siltapaikan kunnostukselle oli jätetty huomattavasti enemmän rahaa kuin opinnäytetyössä tehdyssä laskelmassa. On todennäköistä, että siltapaikan kunnostus maksaa enemmän kuin tässä esitetty, mutta siltapaikan kunnostus on erilainen jokaisessa siltakohteessa, joten siihen ei vertailulaskelmassa kiinnitetä suurta huomiota. Myös työmaan yhteiskustannukset olivat erikoistarkastusraportissa 30 %, eivätkä 25 %, kuten opinnäytetyössä tehdyssä kustannusarviossa.

Joissakin tapauksissa yhteiskustannukset voivat olla enemmän kuin ohjearvon maksimi 25 %, sillä kustannusarvio-ohjeessa (23) annetut arvot on laskettu lähinnä uudiskohteille. Korjauskohteissa materiaalien kustannukset suhteessa työhön ovat helposti pienemmät kuin vastaavassa uudisrakennuskohteessa, mikä näkyisi yhteiskustannusten suhteellisena kasvamisena. Tässä on kuitenkin päädytty käyttämään ohjearvoa vertailun helpottamiseksi.

Seuraavassa kuvassa on SILAVA 2009 -ohjelman antama kustannusarvio peruskorjaukselle indeksikorotuksineen. Tiedot siirrettiin Exceliin muokattavuuden helpottamiseksi. Peruskorjauksen hintaa käytetään vertailuarvona kaikkien muiden korjausvaihtoehtojen kustannusarvioiden kanssa.

Taulukko 3. Peruskorjauksen kustannusarvion yhteenveto rakennusosittain (ALV 0 %)

Yhteenveto	Sijanti	Euroa
Koko silta	0	8486
Maatuet	300	10236
Päällysrakenne	400	10862
Varusteet	600	8745
Muut	900	0
yhteiskustannukset 25 %		9582,3125
Indeksimuutos i=168,6 (11.2014)		
	yht.	80 800,00 €

Sillantarkastuskäsikirjan ohjeintojen (Liite 1 kohta 10.) mukainen karkea kustannusarvio toimii hyvin vertailuarvona opinnäytteen kustannusarviolle. Käsikirjassa esitetyn hintahaarukan oletetaan esimerkkitapauksessa olevan keskimääräinen. Suuremmissa silloissa yksikköhinnat ovat pienemmät kohteen laajuuden vuoksi ja pienemmissä kohteissa vastaavasti on suuremmat yksikköhinnat. Käsikirjassa olevat yksikköhinnat eivät ole sidoksissa maarakennustai mihinkään muuhunkaan indeksiin, joten hintaan tarvitsee lisätä ainoastaan yhteiskustannusten osuus.

Taulukko 4. Sillantarkastuskäsikirjan yksikköhintojen mukainen peruskorjauksen kustannusarvio

	yks.	määrä	€/yks	€
Reunapalkin uusiminen	m	20,4	1200	24 480,00 €
Rakenteen korjaaminen valamalla	m ³	10	2500	25 000,00 €
Paikkaus ilman muotteja	m ²	5	700	3 500,00 €
Betonipinnan impregnointi	m ²	14,2	40	568,00 €
Ruiskubetonointi	m ²	26,2	190	4 978,00 €
Pintarakenteiden uusiminen	m ²	34	315	10 710,00 €
Tartuntaterästen ankkurointi	kpl	64	40	2 560,00 €
	yhteiskustannukset 25%			17 949,00 €
		Yhteensä		89 745,00 €

Vertailulaskelmasta huomaa, että käsikirjan yksikköhintojen avulla on helppo saada suuruusluokka suhteellisen lähelle. Suuren hintahaarukan takia kustannuslaskentaan tarvitaan kuitenkin harjaantunut käyttäjä, jotta voidaan arvioida kuinka suuret yksikköhinnat voidaan valita käsikirjassa olevasta haarukasta. Tässä tapauksessa käsikirjan mukainen kustannusarvio meni jossain määrin varmalle puolelle, sillä siinä ei ole edes liikennejärjestelyiden aiheuttamaa lisäkustannusta mukana, mutta silti summa on noin 9 000 euroa suurempi kuin tarkemmassa laskelmassa.

Elementtirakenteisena betonikantena korjatun sillan kustannusarvio on yhteensä noin 96 300 €. Suurin ero peruskorjaukseen verrattuna on päällysrakenteen hinnassa, koska tässä vaihtoehdossa päällysrakenteet uusitaan kokonaan. Itse betonielementtien hinta asennuksineen on noin 12 000 €.

Hintaero peruskorjaukseen on likimain 15 500 € eli noin 19 %. Säästöä saadaan siinä, että vanhaan kanteen ei tarvitse tehdä tartuntaporauksia ja ankkuroida vanhaan reunapalkkiin. Toisaalta laakeritason kunnostaminen uudelle elementtikannelle tuottaa ylimääräisiä kustannuksia.

Taulukko 5. Sillan korjaaminen elementtirakenteisella kannella, kustannusarvio.

Yhteenveto	Sijainti	Euroa
Koko silta	0	11736
Maatuet	300	10443,1
Päällysrakenne	400	14764
Varusteet	600	8745
Muut	900	
yhteiskustannukset 25 %		11422,0875
Indeksimuutos i=168,6 (11.2014)		
	yht.	96 300,00 €

Valssattujen teräspalkkien avulla korjatun kannen korjauskustannukset ovat noin 99 400 €. Kustannukset ovat hyvin lähellä betonielementtikannen hintaluokkaa. Ero peruskorjaukseen on kuitenkin noin 18 600 € eli noin 23 %.

Taulukko 6. Sillan korjaaminen valssattujen teräspalkeilla ja naulatulla puukannella, kustannusarvio

Yhteenveto	Sijainti	Euroa
Koko silta	0	11736
Maatuet	300	13315,1
Päällysrakenne	400	12665
Varusteet	600	9445
Muut	900	
yhteiskustannukset 25 %		11790,38
Indeksimuutos i=168,6 (11.2014)		
	yht.	99 400,00 €

Paikallavalettu betonikansi on rakennuskustannuksiltaan noin 6000 € noin 7 % halvempi kuin elementtirakenteinen kansi. Korjauskustannukset paikallavaletuna ovat yhteensä 90 300€. Peruskorjaukseen verrattuna paikallavalu on noin 12 % kalliimpi.

Taulukko 7. Paikallavalettu korjattu sillan kansi, kustannusarvio

Yhteenveto	Sijainti	Euroa
Koko silta	0	11736
Maatuet	300	13181,1
Päällysrakenne	400	9189
Varusteet	600	8745
Muut	900	
yhteiskustannukset 25 %		10712,66
Indeksimuutos i=168,6 (11.2014)		
	yht.	90 300,00 €

Täysin uuden sillan rakentaminen tässä vaiheessa sillan käyttöikää tulee yleensä kysymykseen vain jos sillalle tehdään hallittu loppuunkäyttö. Silloin kun sillassa on vakavia vaurioita, kantavuuspuutteita tai suurta leventämistarvetta, voidaan hallittu loppuunkäyttö toteuttaa ja uusimisajankohdan myöhentämisestä saatava säästö voidaan laskea diskontattujen kustannusten erotuksena. (20.)

Uuden sillan rakentamiskustannuksia ei ole laskettu niin tarkasti kuin korjausvaihtoehtojen, mutta suuruusluokkatarkastelu uudelle sillalle tehtiin. Uuden sillan rakentamiskustannukset ovat n. 145 000 €. Lasketaan uudelle sillalle diskontattu hinta jos sillan uusimista myöhäistetään. Pengerkaiteiden uusiminen on kuitenkin tehtävä liikenneturvallisuuteen vedoten. Siirtyvä kustannus on noin $145\,000 - 10\,885 = 134\,115$ €. Laskennallinen säästö saadaan kaavasta 1:

$$S = U([1 + k]^a - 1) \quad (1)$$

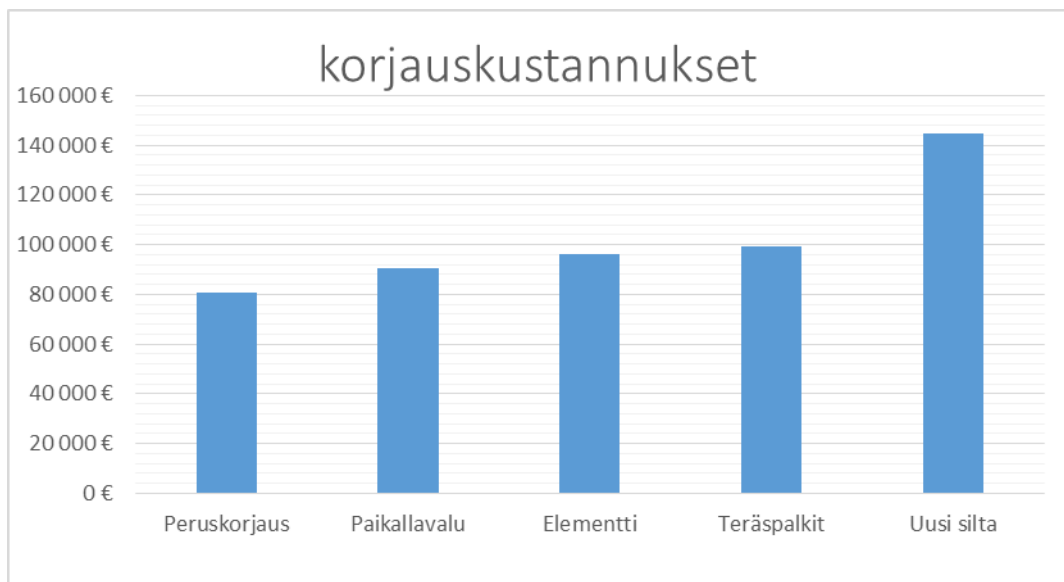
jossa	S	saavutettu säästö	[€]
	U	Alkuperäinen hinta	[€]
	k	laskentakorko	[%]
	a	vuosien määrä	[vuotta]

Tarkasteluun on tässä valittu laskentakorko 3 %. Lasketaan kuinka monta vuotta sillan uudelleen rakentamista tulisi myöhäistä, jotta rakentamiskustannukset olisivat saman verran kuin sillan peruskorjauksen hinta. Tavoitesäästö on $134\,115 - (80\,800 - 10\,885) = 64\,200$ €. logaritmisääntöjen mukaan kaava 1 saa muodon:

$$\log_{(1+k)}\left(\frac{S+U}{U}\right) = a \quad (2)$$

$$\log_{(1,03)}\left(\frac{64\,200 + 134\,115}{134\,115}\right) = 13,23 \text{ vuotta}$$

Saatujen kustannusarvioiden suuruusluokkien vertailu näkyy kuvasta 22.



Kuva 22. korjausvaihtoehtojen kustannusvertailudiagrammi

On syytä todeta, että esitetyissä kustannusvertailutuloksissa on otettu huomioon vain kaikista tärkeimmät korjaustoimenpiteet, joten lopulliset urakkahinnat saattavat nousta suuremmiksi kuin tehdyt arviot. On myös syytä korostaa, että peruskorjausvaihtoehdossa on otettu huomioon se tapaus, että kannen yläpinnalle ei tarvitse tehdä muotoiluvalua. Voi kuitenkin hyvin olla, että muotoiluvalu joudutaan toteuttamaan, mikä nostaa kyseistä kustannusarviota usealla tuhannella eurolla. Näin ollen esitetyt arviot ovat lähinnä minimiarvioita korjauskustannuksista, mutta soveltuvat hyvin tarkastelun vertailukustannuksiksi.

5.3 Käyttöikä

Pitkällä aikavälillä tarkasteltuna on parempi tehdä korjaus, joka lisää sillan käyttömahdollisuutta pitkälle tulevaisuuteen. Halvat hätäratkaisut saattavat helposti lopulta tulla kalliimmaksi kuin se, että korjaus toteutetaan kerralla huolellisesti ja kestävästi. Useassa siltasuunnitelmassa on annettu sillan eri osille eri käyttöiät. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että esim. pintarakenteelle ja reunapalkille annetaan 50 vuoden käyttöikä ja alusrakenteille 100 vuotta. Reunapalkit ovat siis jo käyttöikänsä päässä, mutta kunnon puolesta myös kansirakenne on mieluusti vaihdettava. Maatuet säilyvät vielä laskennallisesti toiset 50 vuotta. (27.)

Peruskorjauksen kestävyyttä ja korjauksella saavutettua käyttöikää voi olla hyvin vaikea arvioida. Periaatteessa kaikki näkyvät vauriot saadaan kyllä peitettyä, mutta vanha kansi jäisi kuitenkin paikoilleen. Näin ollen sillan kantavuus jää vain yhtä hyväksi kuin alkuperäisessä sillassa. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että se on mitoitettu aikakautensa normeilla ja ajoneuvopainoilla. Kuten historia-osiossa huomaamme, ajoneuvojen painot ovat nousseet ja normit vaihtuneet useaan otteeseen 50 vuoden aikana.

Tietynlaisena käyttöiän kriteerinä voidaan pitää myös huoltovapautta. Tämä tarkoittaa sitä, että sillalle ei tarvitse tehdä jatkuvasti korjaus- tai ylläpitotoimenpiteitä. Tietenkin jotkin ylläpitotoimenpiteet ovat pakollisia, sillä esim. betonipintojen impregnointi tulisi uusina noin viiden vuoden välein (19). On kuitenkin SILKO-hyväksytyjä impregnointiaineita, joiden uudelleenkäsitelyväli on 10–17 vuotta. Reunapalkit impregnoidaan suolarasitusten takia sillä impregnointi parantaa betonin suojautumista karbonatisoitumista vastaan.

Teräsrakenteet tarvitsevat myös huoltokäsittelyä, sillä parhaimmatkaan korroosionestomaalit eivät kestä yhtä kauan kuin sillan käyttöikä. Yleisesti ottaen teräspalkeille joudutaan tekemään uusinta- tai paikkausmaalaus ainakin kerran 50 vuoden käyttöiällä.

Erityisesti teräspalkkien ylälaipassa todetaan usein korroosiota ajan myötä. Puukansi ja teräspalkit eivät toimi liittorakenteena, joten puukansi pääsee liikumaan hieman teräspalkin suhteen liikenteen aiheuttamien dynaamisten

kuormien johdosta. Tämä liike yhdessä puun kyllästeiden kanssa voi helposti vaurioittaa teräksen suojamaalia. Mikäli kannella on vesivuotoja tai kondensoituvaa kosteutta, vauriot pahenevat. Tällainen vaurio on myös hankala korjata eikä sitä oikein voida toteuttaa, ellei koko puukantta uusita samalla. (19.)

Yleisesti ottaen ruostumisen aiheuttama korroosio voidaan luokitella kiireettömäksi korjaustoimenpiteeksi. Tämä pitää paikkansa kuitenkin silloin, kun ruostumista on tapahtunut poikkileikkauksen osassa alle 5 %. Jos teräspalkin ylälaipan poikkileikkaus on pienentynyt ruostumisen takia yli 5 %, on rakenne useassa tapauksessa vaihdettava uuteen (19). Tämä on merkittävä kustannusten lisääjä, mikäli teräspalkit joudutaan vaihtamaan ennen niiden käyttöiän päättymistä (~50 vuotta).

Kustannusten kannalta betonin impregnointi on noin 5 kertaa halvempaa kuin teräksen uusintamaalaaminen. Teräsrakenteisen sillan kannen yläpitokustannukset ovat tämän takia pitkällä aikavälillä suuremmat kuin betonisillassa. (12.)

5.4 Rakennusaika

Rakennusaika vaikuttaa olennaisesti valittavaan vaihtoehtoon. Liikennöidyillä alueilla liikennehaitta voi nousta suureksi, jos rakentaminen tai korjaaminen vievät paljon aikaa. Liikennehaitalla on myös selvä vaikutus korjattavan sillan kokonaiskustannuksiin, sillä liikennejärjestelyiden ylläpitäminen maksaa aina tietyn verran riippuen suuresti mm. liikennemäärästä ja sallitusta nopeudesta. (20.)

Rakennus- ja korjauskohteen aikataulun merkityksestä kertoo paljon myös julkisten hankkeiden bonus- ja sanktiojärjestelmä. Läpimenoajan lyhentäminen urakoitsijan näkökulmasta voi olla joissakin tapauksissa rahanarvoista. (22.)

Mahdolliset kiertotiet on valtion omistamalla tiellä voitava viedä toisen yleisen tien kautta. Tämä tarkoittaa joissakin tapauksissa sitä, että kiertotietä ei voida toteuttaa olemassa olevan tieverkon kautta, vaan on rakennettava erillinen kiertotie rakentamisen ajaksi.

Sillan korjauksessa mahdollisuutena on usein tehdä korjaus puoli siltaa kerrallaan. Tällöin sillalla on vähintään yksi kaista liikennöitynä samaan aikaan kun toista puolta korjataan. Tämä on kuitenkin mahdollista vain, jos silta on tarpeeksi leveä, jotta siihen mahtuisi liikennöity kaista samalla kun toinen puoli on ajokelvoton korjauksen aikana.

Raikan sillalla korjaaminen kaista kerrallaan on mahdollista vain jos sillan kantta levennetään tarpeeksi korjaamisen yhteydessä. Ajotien nykyinen hyödyllinen leveys on vain 6 metriä, joten ylimääräistä tilaa tarvitaan toisella puolella liikennöidylle ajokaistalle, jos toinen puoli puretaan (ottaen suojaetäisyydet kuten kaiteet huomioon). Liikennöidyllä ajoradalla on oltava aina vähintään 3,0 m hyödyllinen ajoleveys ja sillan kohdalla turvakaiteet. (20.)

Sillan korjaaminen puoli siltaa kerrallaan vaatii periaatteessa kolme vaihetta:

1. Liikenne siirretään sillan oikealle tai vasemmalle puolelle, keskelle kiinnitetään suojakaide ja ei-liikennöity puoli (puretaan ja) korjataan.
2. Liikenne siirretään korjatulle reunalle, jonne on tehty eristys ja joko väliaikainen päällyste tai päällyste on tehty valmiiksi tavoitetasoon. Toinen puoli siltaa puretaan ja korjataan.
3. Päällyste viimeistellään molemmilla puolilla ja silta avataan liikenteelle.

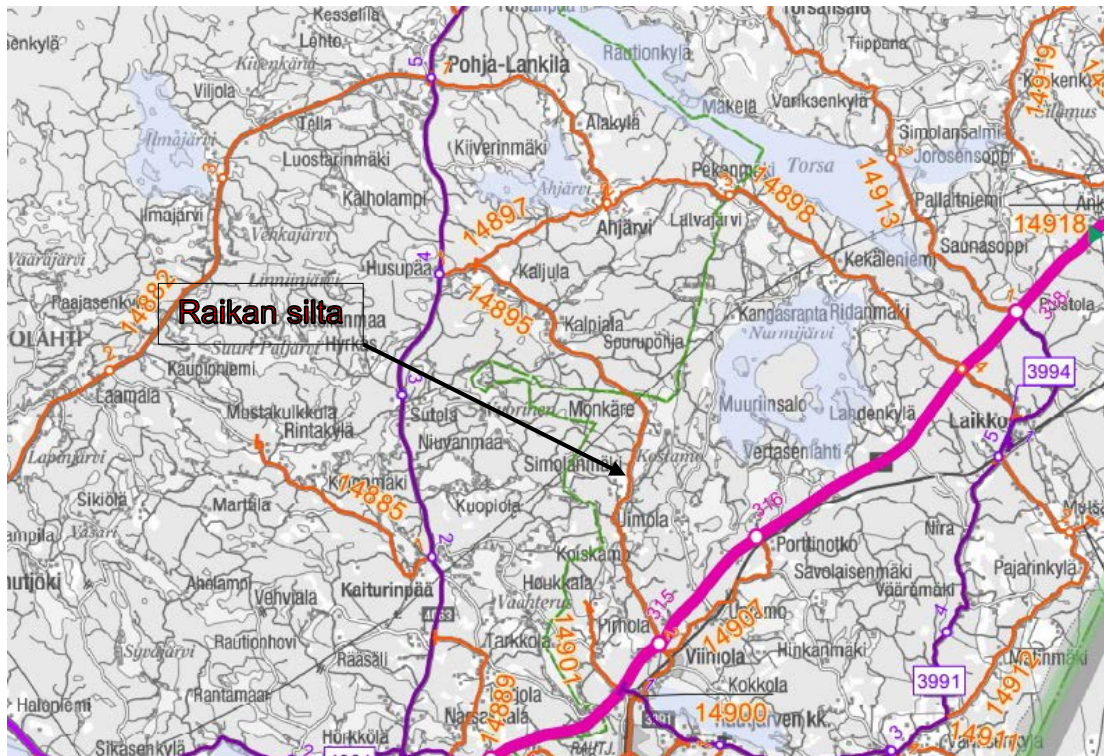
Korjaaminen puoli siltaa kerrallaan on mahdollista periaatteessa sekä peruskorjauksen, että elementtisillan kohdalla. Muissa tapauksissa kiertotie valtion tieverkon kautta voidaan järjestää kantatien 4063 tai yhdystie 14898 kautta (kuva 21). Kiertotiematka on kuitenkin suuri, n. 30 kilometriä. Kiertotien rakentaminen ei ole kannattavaa kohteen suuruuteen ja liikennemäärään suhteutettuna.

Sillan peruskorjauksen nopeuttaminen 2008 -julkaisussa esitetyllä kaavalla 3 saadaan laskettua kiertotien käyttämisestä aiheuttamat aika- ja matkakustannukset (20).

$$K_{kier} = \left[\left(\frac{Lk}{V_k} - \frac{Lk}{V} \right) \cdot (Qk \cdot Ak + Qr \cdot Ar) + Lk(Qk \cdot Ck + Qr \cdot Cr) \right] \cdot Tk \quad (3)$$

<i>Jossa</i>	K_{kier}	<i>Kiertotien aiheuttamat aika- ja matkakustannukset</i>	[€]
	Lk	<i>Kiertotien pituus</i>	[km]
	V_k	<i>Kiertotien sallittu nopeus</i>	[km/h]
	V	<i>Tien sallittu nopeus</i>	[km/h]
	Qk	<i>Kevyiden ajoneuvojen määrä</i>	[kpl/vrk.]
	Ak	<i>Kevyiden ajoneuvojen viivästys- ajan yksikkökustannus</i>	[€/h]
	Qr	<i>Raskaiden ajoneuvojen määrä</i>	[kpl/vrk.]
	Ar	<i>Raskaiden ajoneuvojen viivästys- ajan yksikkökustannus</i>	[€/h]
	Ck	<i>Kevyiden ajoneuvojen matkan yksikkökustannus</i>	[€/km]
	Cr	<i>Raskaiden ajoneuvojen matkan yksikkökustannus</i>	[€/km]
	Tk	<i>Kiertotien kokonaiskesto aika</i>	[vrk]

Ajoneuvojen viivästysajan ja matkan yksikkökustannukset ovat Liikenneviraston määrittämiä vakioita. Raskailla ajoneuvoilla kyseiset yksikkökustannukset ovat huomattavasti suuremmat kuin keveillä ajoneuvoilla. Kaavalla 3 laskettuna Raikan sillan kiertotie tulisi maksamaan noin 250 €/vrk. Tämä on kuitenkin vain laskennallinen arvo ja on melko pieni verrattuna kiertotien pituuteen. Tämä johtuu siitä, että vuorokausiliikenne kyseisellä tiellä on pieni. Todellisuudessa 30 kilometrin kiertotien ylläpitämiskustannukset voivat olla paljon laskettua arvoa suuremmat.



Kuva 23. Valtion tiekartta, jossa mm. valtatie 6 ja mahdolliset kiertotiet Simolanmäentielle (28)

Rakennusajan pituutta arvioidessa tulee siltapaikalla ottaa monet asiat huomioon. Yleinen liikenteen ohjaus on suunniteltava tarkasti ennen rakennustyön aloittamista ja pelastusviranomaisia on informoitava tien sulkemisesta ja mahdollisista kiertotyöjärjestelyistä. Ennen töiden aloittamista siltapaikalla urakoitsija mm. tekee seuraavia asioita: tarkemittaukset, putkien ja linjojen sijainnit ja siirtäminen ja kaivu- ja purkutöiden suunnittelu. Selvitys- ja valmistelutöissä menee usein muutamia päiviä riippumatta siitä, mikä vaihtoehto valitaan. Purkutyöt ja maakaivut voidaan aloittaa tämän jälkeen. (20.)

Tässä opinnäytetyössä ei keskitytä tarkasti korjaustoimenpiteisiin, jotka ovat samoja kaikissa vaihtoehdoissa, sillä kyse on vaihtoehtojen kokonaistaloudellisesta vertailusta. Sillan korjaamisen aikana merkittävin ajankohta on se, kun silta voidaan avata liikenteelle. Tämä tarkoittaa useassa tapauksessa, että sillalla tehdään vielä joitakin viimeistelyitä samalla kun sillalla liikennöidään.

Sillan korjaustyötä tai uuden sillan rakentamisaikaa on arvioitu soveltuvien osien RATUn *Aikataulukirja 2013* -ohjeessa mainittuihin rakentamisen työmenekkihintoihin perustuen (29). Aikataulua arvioitaessa halutaan saada kaksi arvoa:

kokonaistyömenekki ja työn kesto. Työmenekin yksikkö on tth eli työntekijätunti ja työn keston yksikkö on h/tv, eli tunti tai työvuoro. Molemmat arvot vaikuttavat osin myös kustannuslaskentaan. Kokonaistyömenekki lasketaan kaavalla 4 ja työn kesto kaavalla 5.

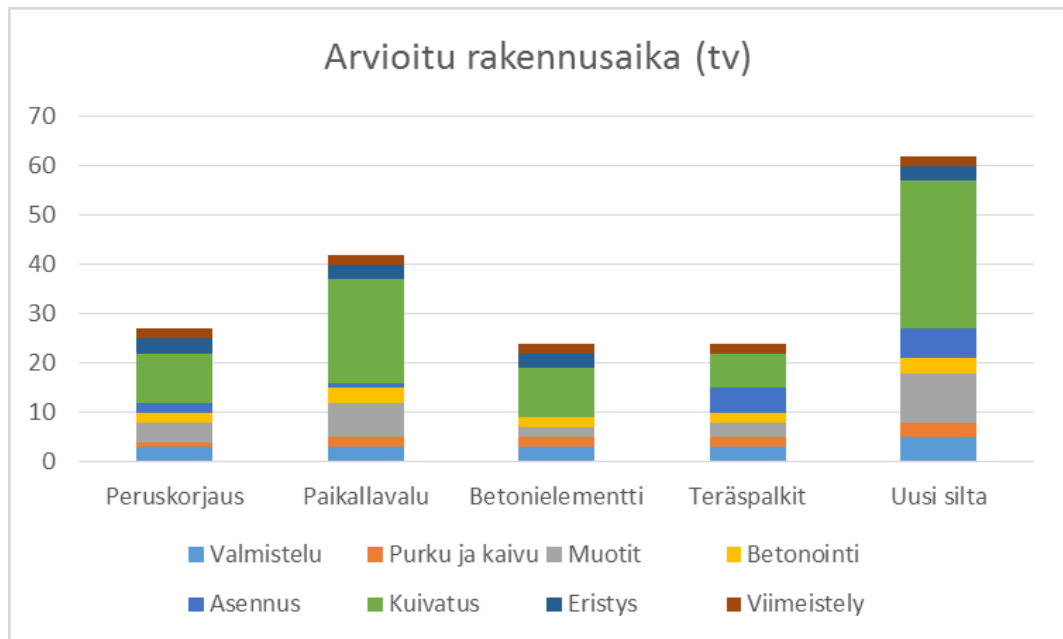
$$\text{Kokonaistyömenekki} = \text{määrä[yks]} \cdot \frac{\text{Työntekijätuntia[tth]}}{\text{Suoritemäärä[yks]}} \quad (4)$$

$$\text{Työn kesto} = \frac{\text{Kokonaistyömenekki[tth]}}{\text{Työryhmä} \cdot 8[\text{h/tv}]} \quad (5)$$

Työmenekkien ja työn keston laskemiseen käytetään Excel-laskentaohjelmaa. Aikaisemmin kustannuslaskentaan käytetyt massat ja määrät viedään Exceliin ja kullekin korjausvaiheelle määritellään työmenekki per yksikkö. Ohjelma määritetään laskemaan työmenekki määrällä ja laskemaan kaikkiin työosiin työvuoromäärä. Työvuorojen määrän avulla voidaan arvioida kuinka kauan silta on liikenteeltä suljettuna. (20, 29.)

Aikataulun arvioinnissa käytetään tarkastusarvoina *Peruskorjauksen nopeuttaminen* -julkaisussa esitettyjä työsaavutuksia eri työvaiheille. Tässä ohjeessa työmenekit on laskettu työsaavutusten avulla, eli saavutusmäärä per työvuoro. Esimerkiksi kermieristyksen työsaavutus on 200-300m²/työvuoro. (20.)

Arvioitu rakentamisaika (työvuoromäärä) on esitetty kuvassa 23. Huomioitavaa tuloskaaviossa on, että siinä ei ole huomioitu betonielementin tekemistä siltapaikalla, vaan se on oletettu tehtävän elementtitehtaalla. Jos betonielementit valetaan siltapaikalla, työaika on miltei sama kuin paikalla valetussa vaihtoehdossa. Elementtien valaminen ei ole liikennettä haittaavaa työtä, joten se on jätetty pois kuvaajasta.



Kuva 24. Rakennusaika vaiheittain ja rakennustyypeittäin

Rakennusaikaan vaikuttavat betonirakentamisessa paljon betonin kuivumisaikat. Betonin kuivumisaikaa on käytännössä vaikea arvioida, sillä lämpötilat, suhteellinen ilman kosteus ja tuuli vaikuttavat suuresti betonin kuivumisaikaan. Sillan rakennus- ja korjaustöissä betonin kuivuudelle yksi kriittisin piste rakennusajan kannalta on riittävä kuivuus eristyksen tekemiselle. Riittävän tartunnan saamiseksi eristysalustan on oltava mahdollisimman kuiva. Tästä syystä eristystyö tehdään miltei aina sääsuojan sisällä.

InfraRYL:n kohdan 42310.2.1 mukaan eristysalustan absoluuttinen kosteus saa olla enintään 5,0 massa- % tai suhteellinen kosteus 93 % kun eristys tehdään kermillä. Alle 100 m² laatalla, jonka paksuus on alle 400 mm, eristysalustaa ei kuitenkaan ohjeiden mukaan tarvitse tarkastaa kosteusvaatimuksen osalta, jos kannen annetaan kuivua vähintään 3 viikkoa jälkihoidon tekemisestä alkaen (30).

Elementtirakenteen selvänä etuna paikallavaluun on se, että muottikalustoa ei tarvitse koota rakennuspaikalla, vaan se voidaan nostaa suoraan paikalleen. Vesistösillan tapauksessa elementtien avulla vältetään myös hankalissa olosuhteissa tapahtuva telinetyö, muotitus ja mahdollinen telineiden vaatima paa-lutus joen uomassa (28).

Periaatteessa betonin kuivumisaika on sama molemmissa tapauksissa, mutta koska elementti voidaan valaa pian sen jälkeen, kun siltapaikka on tarkemittattu, on itse rakennuspaikalla tapahtuva kuivumisaika paljon lyhempi.

Teräspalkit ja puukansi ovat tässä suhteessa betonielementtien kaltainen vaihtoehto. Kun teräspalkit on asennettu, voidaan siirtyä suoraan kannen nau-laukseen. Tässä vaihtoehdossa on kaikkiin muihin verrattuna se etu, että se ei vaadi lainkaan eristyksen ja pintakerrosten tekoa kansirakenteen pintaan, vaan naulattu puukansi on heti valmis liikenteelle kaiteiden asennuksen jäl-keen. Asfalttipäällyste toteutetaan kuitenkin molempiin sillan päätyihin ainakin 5 metrin matkalle sillan päädyistä.

5.5 Muut valintaan vaikuttavat tekijät

Valintaan vaikuttavat ympäristön sallimat olosuhteet. Useassa vaihtoehdossa täytyy työmaalle tilata nostokalustoa, jolla pitää olla tilaa toimia siltapaikalla. Etenkin miltei 20 tonnia painavien teräsbetonielementtien nosto on suunnitel-tava tarkoin. Tämä pätee tietysti myös teräspalkkeihin, sillä niilläkin on painoa reilut 500 kiloa/kpl.

Urakoitsijan on selvitettävä ennen töiden aloittamista tarvittavat suojaetäisyy-det ja tarvittavat siirrot sekä mahdolliset suojaukset.



Kuva 25. Sähkölínjan sijainti siltapaikalla (kuva otettu 22.10.2014)

Uutta siltaa ei tässä vaiheessa sillan käyttöikää ole kannattavaa rakentaa, sillä maatuet ovat verrattain hyvässä kunnossa. Maatuissa on toki eroosion aiheuttamaa betonin kulumista, mutta sillan rakentamisaikaan alusrakenteen rakennepaksuudet olivat hyvin paksuja. Maatukien käyttöikä on varmasti vielä useita vuosikymmeniä, mikäli korjaus toteutetaan niihin valamalla. Olisi eri asia, jos maatuissa havaittaisiin painuman tai siirtymän aiheuttamaa halkeilua. Kaikki vauriot voitiin kuitenkin lukea aiheutuneen muista rasituksista kuin maakerrosten painumisesta.



Kuva 26. Esimerkki sillan painuneesta maatuesta. Silta on kannattavaa uusia kokonaisuudessaan maatuen kunnon takia. Kuvassa Taipaleen yksityistien silta (11.6.2014 Hamina)

Sillan korjaussuunnittelija tai konsultti voi esittää mielipiteensä siitä, mikä korjausvaihtoehto on soveltuvin, mutta tilaaja on loppujen lopuksi se, joka päättää siitä, miten korjaus toteutetaan. Valtion kohteissa valittu vaihtoehto riippuu usein muistakin tekijöistä kuin kustannuksista, mutta vähäliikenteisillä teillä hinnalla on isompi merkitys kuin vilkkailla väylillä. Väyläpidon vuosibudjettiluonteen takia vähäliikenteiset väylät jäävät usein vähemmälle huomiolle, kun meneillään on koko ajan väyläpidon teemaohjelmia, jotka vievät ison osan budjetista. (32.)

6 KORJAUSSUUNNITELMA

6.1 Yleistä

Lopullinen korjaussuunnitelma toteutettiin edellä mainittuihin tekijöihin perustuen. Valittu vaihtoehto on elementtirakenteinen teräsbetoni-laatta. Korjausvaihtoehtoja esiteltiin Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen yhteyshenkilölle, Tomi Vänniselle ja korjaustavasta päästiin yksimielisyyteen pidetyssä palaverissa.

Kohteessa painottui vahvasti se, että kiertotien aiheuttamat kustannukset olisivat nousseet hyvin suuriksi, jos tällainen olisi jouduttu korjauksen toteuttamiseksi tekemään. Myös nykyisen kannen huono kunto otettiin huomioon ja oli

selvästi parempi valita vaihtoehto, jossa kansirakenne uusittaisiin kokonaisuudessaan.

6.2 CAD-piirto ja dokumentointi

Valitusta korjausvaihtoehdosta tehtiin korjauksen yleispiirustus ja tarvittavat detaljikuvat. Tekniseen piirtoon käytettiin Autodeskin AutoCAD 2015:a. Mitoituksen vertailulaskelmat tehtiin sekä käsin että *STRAP Structural Analysis 2013* -ohjelmalla. Korjauksen määrätiedot säilytetään Excel-tiedostossa.

Siltapiirustukset piirretään metrijärjestelmässä. Tämä johtuu siitä, että siltakuvat on tällöin helpompi siirtää digitaaliseen pohjakarttaan, joka on valmiiksi metrijärjestelmässä. Viivatyypin skaalauksen säilyttämiseksi käytetään toimintoa "LTSCALE"=0.035.

6.3 Korjattavan sillan asiakirjat

Seuraavassa esitellään korjattavan sillan tärkeitä asiakirjoja ja niiden keskeistä sisältöä. Listauksessa on sovellettu Liikenneviraston *Korjaussuunniteluohje* -julkaisua (33).

Laskelmat: Laskelmissa osoitetaan sillan ja maaperän kantavuus, käytetyt laskentamenetelmät ja normit. Usein siltakohteista tehdään nykyaikana tietokoneille, joilla voidaan mallintaa liikkuvia kuormia helpommin ja saada määrävät kuormitustapaukset.

Yleispiirustus: Korjauksen yleispiirustuksessa on yleensä kolme piirustusta; tasopiirros, poikkileikkaus sillan pituussuuntaan ja poikkileikkaus sillan poikittaissuuntaan. Lisäksi yleiskuvassa kerrotaan yleistietoa käytettävistä materiaaleista, kuten betonin lujuusluokat. Myös siltapaikan kartta, korjaustyölista, piirustusluettelo ja nimiö kuuluvat yleispiirustukseen.

Korjaustyöselitys: Korjaustyöselityksessä kerrotaan vaiheittain, kuinka silta korjataan, kerrotaan käytetyt materiaalit, työtavat ja laatuvaatimukset. Korjaustyöselityksessä voidaan viitata muihin yleispäteviin ohjeistuksiin kuten SILKO-ohje-sarjaan ja InfraRYL:iin.

Työvaihepiirustus: Työvaihepiirustus voidaan tehdä korjaustyöselityksen liitteeksi, mikäli katsotaan, että jotakin työvaihetta halutaan selventää vaiheittain. Esimerkiksi sillan korjaaminen puoli kerrallaan on toimenpide, jossa voi olla hyvä tehdä liikenteenohjauksen vaiheistus. Varsinainen liikenteenohjaussuunnitelma on joka tapauksessa tehtävä sillalle, jolta katkaistaan liikenne vähintään yhdeltä kaistalta.

Rakennepiirustus: Rakennepiirustuksessa on selitetty ja piirretty korjaustyöt rakennusosittain. Esimerkiksi reunapalkin korjauksesta on oma rakennepiirustus, joka usein koostuu sekä mitta- että raudituspiirustuksesta. Rakennepiirustuksesta selviävät myös poistettavan betonin raja ja mahdolliset väliaikaisuennat purkamisen yhteydessä.

Laadunvarmistus: Laatuvaatimukset ja laaduntarkkailutoimenpiteet voivat esimerkiksi sisältää vaaditut kelpoisuuskokeet ja toimenpiteet, mikäli jokin osa ei täytä laatuvaatimuksia.

Turvallisuusasiakirjat: Turvallisuusasiakirja sisältää tietoja urakkaan liittyvien töiden ominaisuuksista, olosuhteista ja mahdollisista vaara- ja haittatekijöistä sekä ongelmista. Siinä kerrotaan tilaajan antamat turvallisuusveloitteet ja menettelytavat, joita urakoitsijan (ja aliurakoitsijan) on noudatettava korjaustyössä.

7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Raikan sillalle tehty korjaussuunnitelma toteutettiin suunnittelijan ja tilaajan näkemykset huomioon ottaen. Korjausvaihtoehtoa pohdittaessa huomioon otettiin siltapaikan ominaisuudet, korjauskustannukset, liikennehaitta, saavutettu käyttöikä ja huoltotarve. Näillä kriteereillä saatiin painotettua tiettyjä osa-alueita, jotka tekivät valitusta vaihtoehdosta parhaimman.

Tehtyä korjaussuunnitelmaa ei tietenkään voida pitää yleispätevänä joka tilanteessa, sillä jokainen korjattava silta on erilainen. Jokaisen korjausvaihtoehdon kokonaisvaltainen pohtiminen auttaa löytämään tässä opinnäytetyössä esitetyille muille korjaustapavaihtoehdoille sopivia käyttökohteita, sillä jossakin toisessa sillan korjauskohteessa jokin toinen vaihtoehto voi olla parempi.

Raikan siltaan korjaus tehdään elementtirakenteisena teräsbetonikantena.

Seuraavassa on esitetty yhteenveto kohdista, jotka puoltavat tätä vaihtoehtoa:

- Kansirakenne on kauttaaltaan heikossa kunnossa, ja se on pitkällä aikavälillä kannattavampaa vaihtaa uuteen kuin korjata.
- Korjauskustannusten ero peruskorjaukseen verrattuna ei ole suuri, ottaen myös huomioon sen, että peruskorjauksessa saattaa ilmentyä lisäkustannuksia esimerkiksi jos kannelle joudutaan tekemään muotoiluvalu.
- Liikennehaitta saadaan minimoitua, kun korjataan puoli siltaa kerrallaan. Tämä toimenpide pidentää korjaukseen kuluva kokonaisaikaa, mutta liikennettä ei jouduta katkaisemaan.
- Käyttöikä on betonisilloilla hyvin pitkä.
- Huoltokäsittely on yksinkertainen toteuttaa.

Opinnäytetyössä tutkittujen kohtien valossa voidaan kaikille esitetyille vaihtoehdoille löytää mahdollisia käyttökohteita. Seuraavaksi on esitetty kullekin vaihtoehdolle piirteitä, jolloin sitä mahdollisesti voi käyttää. Korjaussuunnitelman laatijan tulee aina tarkastella korjauskohdetta kokonaisvaltaisesti.

Peruskorjaus on sillan peruskuntoa parantava toimenpide, joka ei kuitenkaan yleensä lisää olemassa olevan sillan kantavuutta. Se käy hyvin kohteisiin, jossa ei ole tarvetta nostaa kannen kapasiteettia esimerkiksi vertikaalikuorille. On myös mahdollista, että kannen päällysrakenteita ei ole tarpeen vaihtaa, joten tällöin korjataan ainoastaan esim. reunapalkit.

Peruskorjaus käy kohteisiin, joissa ei voida tai ei haluta katkaista liikennettä, sillä silta voidaan useassa tapauksessa korjata puoli kerrallaan jos sillassa on tarpeeksi hyödyllistä leveyttä. Korjausmenetelmän suurin hyöty lienee kuitenkin edullisuus, sillä peruskorjauksessa materiaali- ja työmenekki on optimoitu mahdollisimman tehokkaasti.

Paikallavalu on laattasillan kantta korjattaessa periaatteessa teknisesti sama rakenne kuin elementtikansi, mutta se on vain valettu suoraan laakeritasojen päälle. Verrattuna elementteihin se on hiukan halvempi, sillä kannen nostoon ei tarvitse tilata nostokalustoa tai siinä ei tarvita kuljetuksia elementtitehtaalta. Sillan kannen korjauksessa paikallavalu on kuitenkin vaikea, koska kulkuaukon kohdalla on miltei aina joko muuta liikennettä tai vettä. Tämä seikka aiheuttaa sen, että muottien tuenta joudutaan suunnittelemaan ja toteuttamaan siltakohtaisilla ratkaisuilla.

Paikalla valettu teräsbetonikansi ajaa asiansa erittäin hyvin, esimerkiksi kohteessa, jossa voidaan helposti järjestää kiertotie olemassa olevan tieverkon kautta ja uuden kannen käyttöönotto ei ole ajallisesti kriittinen. Myös pitemmillä jänneväleillä elementeillä korjaaminen voi osoittautua vaikeaksi, sillä elementtien paino alkaa kasvaa jännemitan pidetessä. Kansi on tietenkin mahdollista tehdä useammasta kuin kahdesta elementistä, mutta tällöin menetetään osa siitä hyödystä, että liikenne saataisiin nopeasti uudelle kannelle.

Teräspalkit on nopea asentaa ja ne ovat lisäksi keveitä verrattuna betonielementteihin. Kuten tarkasteluissa todettiin, kannen uusimisvaihtoehdoista tämä on kuitenkin kaikkein kallein. Kokonaiskustannus tosin kompensoituu rakennusajan lyhentymisellä ja saattaa vilkasliikenteisellä tiellä olla siten jopa kannattavampi korjaustoimenpide kuin betonikansi. Toisaalta teräspalkkien ja puukannen kunnossapitoon liittyvät huoltotoimenpiteet ovat yleensä hiukan vaativampia kuin betonikannen tapauksessa.

Uuden sillan rakentaminen tullee silloin kyseeseen, kun sillan kunto sitä vaatii tai menetellään aikaisemmin mainitulla uusimisen myöhentämisen käytännöllä. Silta vaatii uusimista esimerkiksi silloin, kun sillan maatuudet ovat painuneet tai ne halutaan uusia geoteknisen kantavuuden lisäämiseksi. Mikäli uusi silta päätetään rakentaa myöhemmin ja käyttää olemassa oleva silta loppuun, on liikenneturvallisuuden aina säilyttävä (hallittu loppuunkäyttö). Yksi mahdollinen sillan uusimisvaihtoehto on käyttää jännemitaltaan pienessä siltakohteessa teräksistä putkisiltaa.

LÄHTEET

1. Saarela S. 2004 (RIL ry). Siltojemme historia. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy. s. 399-425.
2. Liikennevirasto 2010. Tiesillat 1.1.2010 Liikenneviraston tiesillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lti_2010-03_tiesillat_1.1.2010_web.pdf [viitattu 10.12.2014].
3. Tiehallinto 2003. Vähäliikenteisten teiden siltojen taloudellinen ja turvallinen ylläpito – Lähtötietojen täydentäminen, vaihe I, s. 15–22. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/s14/docs/vahaliik_sillat.pdf [viitattu 9.3.2015].
4. Museovirasto 2015. Suomen Rautatiemuseon kuvakokoelma: Kuva VR1:696.
5. Volvotrucks 2015. Tietoa Volvo yhtymästä, 1960-luku.
6. Liikennevirasto 5.9.2014. Eurokoodin soveltamisohje, Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1. s.11. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2014-24_ncci1_web.pdf [viitattu 22.12.2014].
7. Suomen Standardisoimisliitto SFS. SFS-EN 1991-2. 2004. Siltojen liikennekuormat s.165.
8. Liikennevirasto 2013a. Ajoneuvoasetuksen muutos, s.7.
9. Tiehallinto 2004. Sillantarkastusohje, s. 20. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/sillantarkastusohje2004.pdf> [viitattu 9.3.2015].
10. Liikenneviraston arkisto - Tyypipiirustukset (ent. Tiehallinto). Saatavissa: http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat_suunnittelijat/vaylanpidon_ohjeet/arkisto/tyypipiirustukset#.VQqr7I6sV8M [viitattu 19.3.2015].
11. Liikennevirasto 2011a. Liikenneväylien korjausvelka. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2011-42_liikennevaylien_korjausvelka_web.pdf [viitattu 19.3.2015].
12. Liikennevirasto 2013b. Sillantarkastuskäsikirja, Liikenneviraston ohjeita 26/201. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2013-26_sillantarkastuskasikirja_web.pdf [viitattu 11.12.2014].
13. Liikennevirasto 31.3.2010. Siltojen erikoistarkastuksen laatuvaatimukset. Saatavilla: http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/et_laatuvaatimukset_2010.pdf [viitattu 15.12.2014].
14. Liikenneviraston taitorakennerekisteri.
15. Siippola S., Riitaola M. 18.12.2012. Raikan silta (KaS-661). Erikoistarkastusselostus.
16. Maantielaki. 23.6.2005/503.
17. Tiehallinto 2009. Tieosoitejärjestelmä s.3-6. Saatavilla: http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/urakoitsijat_suunnittelijat/konsulteille/tierekisteri/tieosoitejarjestelma.PDF [viitattu 22.12.2014].

18. Liikennevirasto 17.6.2013. Eurokoodin soveltamisohje – Puurakenteiden suunnittelu NCCI5. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2013-25_ncci5_web.pdf [viitattu 19.3.2015].
19. Tiehallinto 2002. SILKO-ohje sarja. Osat 2.211, 2.252, 2.261, 2.332 Saatavilla: <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/silko1.htm> [viitattu 1.12.2014].
20. Tiehallinto 11.2008. Sillan peruskorjauksen nopeuttaminen. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/sillan_peruskorjauksen_nopeuttaminen_2008.pdf [viitattu 19.3.2015].
21. Tiehallinto 2008. Valssattujen teräspalkkien käyttö puukantisissa teräspalkkisilloissa jm = 2...20 m.
22. Aho T. 2009. Innovointi ja julkinen hankinta – Kehityshankkeiden kilpailuttamisen juridisia kysymyksiä. Tekes. Saatavissa: http://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/innovointi_ja_julkinen_hankinta.pdf [viitattu 27.4.2015].
23. Tiehallinto 2008. Sillan kustannusarvio s. 9-12. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/kustannusarvio_2008_b.pdf [viitattu 19.3.2015].
24. Tiehallinto 10.10.2008. Sillan määräluettelo s.12-13. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/maaraluettelo_2008.pdf [viitattu 19.3.2015].
25. VALSAI-rakennusalan käsitteitä. 2006. VTT. Saatavissa: http://www.vtt.fi/liitetiedostot/cluster6_rakentaminen_yhdyskuntateknikka/Valsai_Sanasto.pdf [Viitattu 15.12.2014].
26. Tilastokeskus 17.11.2014. Liitetaulukko 5. Maarakennuskustannusindeksi 2000=100.
27. Liikennevirasto 21.6.2012. Eurokoodin soveltamisohje Betonirakenteiden suunnittelu - NCCI 2. s.27-30. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2012-13_eurokoodin_soveltamisohje_ncci2_web.pdf [viitattu 9.4.2015].
28. Valtion tienumerokartta, Kaakkois-Suomi. Saatavissa: <http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/liikenneverkko/tiet/tienumerokartat/kaakkois-suomi.pdf> [viitattu 9.4.2015].
29. Lindberg, R., Koskenvesa, A., Sahlstedt, S. 2012. Aikataulukirja 2013. 12. uudistettu painos. Viro: Meedia Zone Oü.
30. Rakennustieto Oy 2008. InfraRYL 2006. Hämeenlinna: Karisto Oy. s. 199.
31. Betonteollisuus Ry. Sillat: <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen/infrarakentaminen/sillat> [viitattu 22.12.2014].
32. Kaakkois-Suomen Ely-keskus 2014. Tiehankkeet: http://www.ely-keskus.fi/web/ely/ely-kaakkois-suomi-tiehankkeet#.VMtF_GisV8M [viitattu 30.1.2015].
33. Liikennevirasto 2011b. Betonisiltojen korjaussuunnitteluohje. s. 50–51. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2011-17_betonisiltojen_korjaussuunnitteluohje_web.pdf [viitattu 9.4.2015].

KUVALUETTELO

Kuva 1. VR:n kuorma-auto 1950-luvun alkuvuosilta. Suomen Rautatiemuseon kuvakoelma: Kuva VR1:696.

Kuva 2. A I-kuormakaavio. Tiehallinto 2003.

Kuva 3. Akselikuormakaavio 1960-luvulla: $K1 = 14 \text{ t}$ ja $K2 = 30 \text{ t}$. Tiehallinto 2003.

Kuva 4. Volvon 5-akselinen kuorma-auto 1960-luvulta. Volvotrucks 2015.

Kuva 5. Lk1- ja Lk2 -kuormakaaviot: $F = 210/260$. $p_0 = 3/2 \text{ kN/m}^2$. Tiehallinto 2003

Kuva 6. Telien sijoittelu kuormakaaviossa LM1. SFS-EN 1991-2, Siltojen liikennekuormat 2004. s.165.

Kuva 7. Raskaiden ajoneuvoyhdistelmien laskennallisen painon kehitys vuodesta 1891 vuoteen 2014. (1, 3, 8.)

Kuva 8. Nykyinen raskas ajoneuvoyhdistelmä painaa enintään noin 76 tonnia (yhdeksän akselia). Akselien laskennallinen kokonaisvälimatka on 19,3 metriä. Liikennevirasto 2013.

Kuva 9. Valmistuneiden siltojen määrät rakennustyypeittäin eri vuosina. Rakennetut sillat on kuvattu 5 vuoden jaksoina. Liikennevirasto 2010.

Kuva 10. Teräsbetonisen laattasillan alusrakenteen tyyppipiirustus vuodelta 1959. Liikenneviraston arkisto: http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat_suunnittelijat/vaylanpidon_ohjeet/arkisto/tyyppipiirustukset#.VQqr7l6sV8M [viitattu 19.3.2015].

Kuva 11. Sillan kannen reuna/reunapalkki on pahoin rapautunut. Lumitähti, J. 22.10.2014.

Kuva 12. Sillan maatuen etumuurissa olevaa rapautumaa. Suunnittelukide Oy 14.8.2012.

Kuva 13. Siipimuurin rapautumaa. Suunnittelukide Oy 14.8.2012.

Kuva 14. Sillan kannen alapinnan rapautumaa. Suunnittelukide Oy 14.8.2012.

Kuva 15. Sama kaidepylväs kuvattuna syksyllä 2012 ja syksyllä 2014. Suunnittelukide Oy, Lumitähti, J. 14.8.2014 ja 22.10.2014.

Kuva 16. Peruskorjauksen poikkileikkaus ja korjaustyöt. Kuvassa vanhan sillan poikkileikkaus. Lumitähti, J. 1.12.2014.

Kuva 17. Poikkileikkaus teräsbetonielementtikannesta. Lumitähti, J. 1.12.2014.

Kuva 18. Poikkileikkaus sillan korjauksesta, jossa on käytetty kantavana rakenteena teräspalkkeja (HEA) ja puukantta. Lumitähti, J. 1.12.2014.

Kuva 19. Poikkileikkaus, paikallavalettu betonikansi. Lumitähti, J. 1.12.2014.

Kuva 20. Poikkileikkaus, liimattu palkkisilta. Lumitähti, J. 1.12.2014.

Kuva 21. Jatkuvan laattasillan tunnusnumerointi rakennusosittain. Tiehallinto 10.10.2008. Sillan määräluettelo. s.12–13.

Kuva 22. korjausvaihtoehtojen kustannusvertailudiagrammi. Lumitähti, J. 30.1.2015.

Kuva 23. Valtion tiekartta, jossa mm. valtatie 6 ja mahdolliset kiertotiet Simolanmäen tielle. Valtion tienumerokartta, Kaakkois-Suomi. Saatavissa: <http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/liikenneverkko/tiet/tienumerokartat/kaakkois-suomi.pdf> [viitattu 9.4.2015].

Kuva 24. Rakennusaika vaiheittain ja rakennustyypeittäin. Lumitähti, J. 22.10.2014.

Kuva 25. Sähkölinjan sijainti siltapaikalla. Lumitähti, J. 22.10.2014.

Kuva 26. Esimerkki sillan painuneesta maatuesta. Silta on kannattavaa uusia kokonaisuudessaan maatuen kunnon takia. Kuvassa Taipaleen yksityistien silta. Suunnittelukide Oy 11.6.2014, Hamina.

NUMERO	NIMIKE	sijainti	määrä	yksikkö	kustannus/ yksikkö	Kustannus
1123	Betonirakenteen mekaaninen piikkaus	0	2	m3rtr	250	500
	vesipiikkaus, syvyys n. 10-20 mm		45	m2	70	3150
1620	MAAKAIVANNOT					
1624.1	Kaivu ilman tuentaa	0	60	m3ktr	4,6	276
1830	KAIVANTOJEN TÄYTÖT					
1835	Rakenteiden ympäristäytöt	0	60	m3rtr	11	660
2220	LUISKAVERHOUKSET JA EROOSIOSUOJAUKSET					
2222	Kiviheitokkeet					
	kiviheitoke sillan keiloissa	0	100	m2tr	19	1900
4210	SILLAN TUKIRAKENTEET					
4211.1:1	Muotit ja telineet					
	muotit ja telineet	300	80	m2tr	57	4560
4211.1:2	Raudoitteet					
	A 500 HW	300	161	kg	1,1	177,1
	Tartunnat manttelivalussa	300	64	kpl	25	1600
	Tartunnat siipimuurin reunapalkissa	300	68	kpl	25	1700
4211.1:4	Betoni					
	betoni	300	5	m3rtr	95	475
	* lisähinta C30/37	300	5	m3rtr	13	65
	* lisähinta P50	300	5	m3rtr	26	130
	Ruiskubetonointi	300	26,2	m2	130	3406
4220	SILLAN PÄÄLLYSRAKENNE					
4221.2	Raudoitteet					
	teräs A500HW	400	330	kg	1,1	363
	Tartunnat kannen reunapalkissa	400	116	kpl	25	2900
4221.4	Betoni					
	betoni	400	5	m3rtr	95	475
	* lisähinta P50	400	5	m3rtr	26	130
4226.4	Betonin pinnoitus					
	sementtipinnoite	400	68	m2tr	30	2040
4226.5	Betonipintojen impregnointi	400	14,2	m2tr	20	284
4230	SILLAN KANNEN PINTARAKENTEET					
4230	Eristys					
4230.1	pintarakenteiden paikkaus	400	8	m2	100	800
4231	Eristys					
4231.3	Kermieristys					
	- kumibitumikermieristys (2 krt.)	400	34	kan-m2	14	476
4231.7	Reunapalkin sisäpinnan kumibitumisively	400	4	m2tr	4,6	18,4
4232.4	Suojakerros kuitukankaasta	400	34	kan-m2	6,5	221
	ja hiekasta					
4233.11	Asfalttibetoni (AB)					
	- AB 16/120	400	160	m2tr	6	960
4239.12	Täyterkerros murskeesta	400	8,15	m3tr	19	154,85
4240	SILLAN VARUSTEET JA LAITTEET					
4245.12	Teräskaitteet					
	harva kaide (H2)	600	24	mtr	99	2376
	- vinot päät (4 m)	600	4	kpl	368	1472
	pengerkaide	600	108	mtr	45	4860
4249.4	suojaputket					
	- putket < Ø 110 (muovi)	600	10	mtr	3,7	37
5400	TYÖMAAPALVELUT					
5470	YLEISEN LIIKENTEEN HOITO	0	1	kpl	2000	2000

Yhteensä (ALV 0%)		38166,35
Käyttö- ja yhteiskustannus%	25	9541,5875
Indeksimuutos (i=100)	168,6	
Yht.		80435,58

Kiertotien aih. Lisäkustannukset

4860

NUMERO	NIMIKE	Työme- nekki	Ryhmä	kok. Työme- nekki	työvuoroa
1123	Betonirakenteen mekaaninen piik- vesipiikkaus, syvyys n. 10-20 mm	0,9 0,	1 1	1,8 7,2	0,2 0,9
1620	MAAKAIVANNOT				
1624.1	Kaivu ilman tuentaa	0,1	3	6	0,25
1830	KAIVANTOJEN TÄYTÖT				
1835	Rakenteiden ympärystätöt	0,1	2	6	0,38
2220	LUISKAVERHOUKSET JA				
	EROOSIOSUOJAUKSET				
2222	Kiviheitokkeet				
	kiviheitoke sillan keiloissa	0,1	3	10	0,42
4210	SILLAN TUKIRAKENTEET				
4211.1:1	Muotit ja telineet				
	muotit ja telineet	0,	2	52	3,25
4211.1:2	Raudoitteet				
	A 500 HW	0,00	2	1,20	0,075468
	Tartunnat manttelivalussa	0,4	2	25,6	1,6
	Tartunnat siipimuurin reunapalkissa	0,4	2	27,2	1,7
4211.1:4	Betoni				
	betoni	0,4	3	2	0,08
	* lisähinta C30/37	0,4	1	0	0,00
	* lisähinta P50	0,4	1		0,00
	Ruiskubetonointi	0,0	2	1,39	0,09
4220	SILLAN PÄÄLLYSRAKENNE				
4221.2	Raudoitteet				
	teräs A500HW	0,00	2	2,475	0,15
	Tartunnat kannen reunapalkissa	0,4	2	46,4	2,90
4221.4	Betoni				
	betoni	0,4	2	2	0,13
	* lisähinta P50				
4226.4	Betonin pinnoitus				
	sementtipinnoite	0,4	2	27,2	1,7
4226.5	Betonipintojen impregnointi	0,1	2	1,42	0,09
4230	SILLAN KANNEN PINTARAKENTEET				
4230	Eristys				
4230.1	pintarakenteiden paikkaus	0,3	1	2,4	0,30
4231	Eristys				
4231.3	Kermieristys				
	- kumibitumikermieristys (2 krt.)	0,	2	9,18	0,57
4231.7	Reunapalkin sisäpinnan kumibitumi-	0,1	2	0,4	0,03
4232.4	Suojakerros kuitukankaasta	0,	2	4,08	0,26
	ja hiekasta				
4233.11	Asfalttibetoni (AB)				
	- AB 16/120	0,	2	35,2	2,20
4239.12	Täytekerros murskeesta	0,1	2	0,815	0,05
4240	SILLAN VARUSTEET JA LAITTEET				
4245.12	Teräskaitteet				
	harva kaide (H2)	0,	2	5,76	0,36
	- vinot päät (4 m)	0,	2	0,96	0,06
	pengerkaide	0,	2	25,92	1,62
4249.4	suojaputket				
	- putket < Ø 110 (muovi)	0,	1	0,5	0,06
5400	TYÖMAAPALVELUT				
5470	YLEISEN LIIKENTEEN HOITO	1	2	1	0,06

Työmenekki	työvuoroja[tv]
305,1	20

Liite 2

